Prof. EMILIO REPOSSI

L' ORIGINE DELLA TERRA

PRESSO LA
FEDERAZIONE ITALIANA DELLE BIBLIOTECHE POPOLARI

MILANO - Via Pace, 10

PRIMA LEZIONE

INTRODUZIONE

I^a PARTE

Il nostro mondo muta continuamente. — E' convinzione comune degli uomini incolti che, se gli animali e le piante si mutano e si rinnovano senza posa, e con vece continua nascono e muoiono, il mondo delle pietre, che costituisce il suolo sul quale viviamo, sia invece inerte ed immutabile. Ora, se noi non ci accontentiamo di osservare superficialmente il mondo che ci ospita, e non pretendiamo di misurare la durata di tutte le cose con la durata, relativamente così breve, della nostra vita, non possiamo tardare a persuaderci che nulla è più falso dell'apparenza di immutabilità offertaci dai minerali e dalle rocce e dagli stessi corpi celesti, e che invece sono essi pure in preda a continui ed instancabili cambiamenti, e che essi pure nascono e muoiono.

Solo che i movimenti sono molto lenti. — L'illusione nostra deriva solo dal fatto che il tempo richiesto dallo svolgersi di questi mutamenti è di durata senza confronto maggiore di quella del nostro fragile organismo, e la vita di questi corpi, che noi tanto impropriamente chiamiamo inerti, è da diverse leggi limitata.

Esempi: mutamenti cui vanno soggette le montagne. — Le nostre belle Alpi, a memoria degli uomini, sono sempre state là dove ora ne vediamo biancheggiare le vette coperte di neve e di ghiacci, e dove hanno ori-

gine i maestosi corsi d'acqua che traversano le nostre pianure. Ma, se percorriamo le alte vallate alpine, osserveremo che tutte le rocce sono rivestite da cumuli di sfacelo ed enormi frane coprono il piede di ogni vetta. Se consideriamo dopo una piena il letto di un corso di acqua, lo vedremo ingombro da interi strati di ciottoloni, di ghiaie, di sabbie, che quel corso d'acqua ha strappato
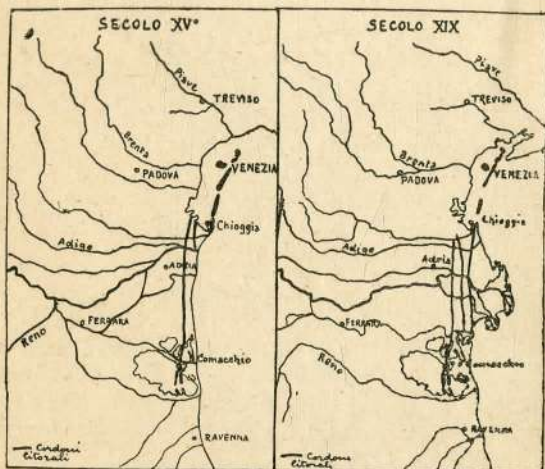
Fig. 1 — *Il delta del Po nel secolo XV e nel secolo XIX.*

dai monti per disseminarli sui piani. Se, dove sbocca un fiume nel mare, volgiamo uno sguardo ai cumuli di melme e di arene che fanno indietreggiare ogni anno di qualche metro le onde, e pensiamo che queste melme e queste arene sono l'ultimo prodotto della rapina instancabile esercitata dalle acque su tutto il loro percorso, facilmente ci persuaderemo che le montagne stesse debbono avere una vita lunghissima sì, ma limitata, e che le coste del mare, almeno in alcuni punti (Fig. 1), debbono lentamente, ma sicuramente spostarsi; cosa questa che, del resto, anche le memorie storiche ci confermano.

Corrosione delle rive marine per opera delle onde. — A conclusioni essenzialmente non diverse si giunge se, in altri tratti delle rive marine, consideriamo la sorte a cui sono sottoposte le coste ripide e dirupate, contro le quali battono spesso con estrema violenza le onde. Ci sono luoghi dove il mare guadagna continuamente terreno sulla terra emersa e fa arretrare la spiaggia ogni anno di qualche metro.

Movimenti di sollevamento o di sommersione delle coste. — Altri punti della superficie della terra, attentamente esaminati, si mostrano in preda a lentissimi movimenti di sollevamento o di sommersione, come, ad esempio, le coste del mar Baltico, o quelle delle terre del Pacifico, e le stesse terre italiane in molti punti. Antichi edifici od avanzi della vita di uomini primitivi si trovano sommersi sotto le onde; spoglie di animali o di piante marine si rintracciano altrove fuori dal pelo delle acque; gli uni e le altre sono prove irrefragabili di movimenti del suolo, che noi finora non conosciamo nelle loro cause intime, ma che non cessano per questo di essere veri.

I terremoti e i vulcani. — I terremoti, che così frequentemente scuotono tante parti della superficie della terra, e più ancora le tre e più centinaia di vulcani disseminati sul nostro globo, quando sono in preda alle furie delle loro eruzioni, modificano talora profondamente l'aspetto di vasti tratti del suolo. E la storia registra esempi di intere isole scomparse, di nuove terre formatesi per opera di questi ancor misteriosi agenti della natura.

Un'antica leggenda relativa ai cambiamenti continui della superficie terrestre. — Diamo a tutte queste immani forze naturali il tempo necessario al loro svolgersi, pensiamo che esse hanno senza posa agito per secoli e centinaia di secoli, e cominceremo a persuaderci che la immutabilità della faccia della terra è niente più che apparente. Gli antichi saggi, che in tante cose hanno

visto più a fondo di quanto non vediamo noi, sempre invasati dal demone della fretta, avevano già intuito questa grande e fondamentale verità, che a noi sembra conquista affatto recente della scienza. E in un' antichisssima leggenda si racconta di un pellegrino che, tornando nello stesso luogo ogni cinquecento anni, vi trovava, una volta, una pianura verdeggiante, un' altra volta, aspre montagne, un' altra volta ancora, l' ampia distesa del mare; volendo con ciò significare che tutto si muta su questa terra, anche le cose che per abitudine quasi reputiamo eterne.

Le conchiglie marine in cima alle montagne. — Gli antichi, del resto, probabilmente già sapevano quello che ognuno di noi certo sa, ed ha potuto forse anche verificare coi propri occhi, e cioè che non di rado sulle montagne si trovano dentro il vivo sasso conchiglie ed altri avanzi di animali marini. La cosa è veramente meravigliosa; tanto meravigliosa, che per molto tempo gli uomini non vollero credere ai propri occhi e fecero una quantità di supposizioni spesso assai strane per spiegarla, giungendo persino a pensare che l' influenza delle stelle avesse fatto nascere entro le pietre quelle curiose apparenze di forme animali.

Leonardo da Vinci, il cui genio scientifico splende ormai quanto quello artistico, fu tra i primi nei tempi moderni a riconoscere la vera natura di quei corpi e ad affermare che si tratta proprio di conchiglie pietrificate, appartenute antichissimamente ad animali marini veramente vissuti. Come mai si possono trovare lassù? Non penseremo certo che una volta il mare giungesse tanto in alto da coprire le vette più elevate dei monti: d' onde sarebbe venuta una così enorme quantità d' acqua? E' il suolo che si è sollevato. Quando quegli animali vivevano, la superficie solida della terra in quel punto era tanto bassa da trovarsi coperta dalle onde marine e qualche volta anche formava il fondo di un oceano profondissimo; poi, a poco a poco, si è sollevata sino a giungere là dove noi la vediamo. Non c'è altra spiegazione possibile, e nessuno ha ora su ciò il minimo dubbio.

La geologia si propone appunto di studiare le cause di tutti questi mutamenti. — La scienza, negli ultimi secoli, non si è accontentata di constatare che la terra nel corso sterminato del tempo ha cambiato faccia probabilmente molte volte, ma ha cercato anche di tracciare, con una serie di ingegnosissimi ragionamenti, le linee generali della storia di queste trasformazioni, fondando con ciò quella scienza speciale che si chiama geologia, la quale, dallo studio attento di tutti i mutamenti che in oggi si manifestano sul nostro globo, trae argomento per la conoscenza dei mutamenti passati.

Nè la scienza si è fermata a questo punto. Quando le nostre cognizioni astronomiche, per opera di una moltitudine di studiosi, forniti di strumenti precisi di osservazione e di rigorosi metodi d'indagine, sono giunte a tanto da non lasciarci ignorare la natura dei principali corpi celesti e delle leggi che ne governano il movimento, e da non lasciarci ignorare il vero posto che la terra occupa nel mondo degli astri, gli uomini hanno ripreso l'antico e fondamentale problema dell'origine stessa della terra.

Il problema dell'origine della terra. — Questo formidabile quesito che, con quello ancor più grave dell'origine di tutte le cose, ha sempre affaticato la mente dell'uomo, come ci provano le tradizioni delle più antiche religioni, fu in ogni tempo variamente risolto, ma solo in tempi relativamente recentissimi le soluzioni che si son proposte hanno assunto vero valore di scienza. E, se non con assoluta certezza di colpire in ogni punto la verità in una questione tanto grave e complessa, almeno con una buona probabilità di riprodurne con molta approssimazione le linee generali, possiamo ora ragionare, non solo della storia della terra, ma anche delle sue origini. Scopo di questo lavoretto è pertanto quello di esporre, dopo aver brevissimamente esaminate le condizioni della terra quale astro dell'universo, la più legittima ipotesi che si può formulare sulla sua origine; poi indagheremo le cause di trasformazione che hanno agito e che agiscono sulla superficie del globo, e, con la scorta

di queste cognizioni, vedremo di delineare il quadro generale della sua storia, non trascurando da ultimo che la terra fu ed è sede di quegli organismi viventi, animali e piante, coi quali la complicazione strutturale della materia e le manifestazioni dell'energia, che con quella si immedesimano, sembrano toccare il massimo di eccellenza.

Il sistema solare, le stelle e le nebulose

II^{a} PARTE

La terra è un'immensa sfera che gira intorno al sole. — Il giorno in cui gli uomini credevano che la terra fosse il centro dell' universo, e solidamente posasse su chissà quale sostegno, è da lungo tempo tramontato. Oggi nessuno ignora che essa è un astro dell' universo, di forma pressochè sferica, con un diametro poco lontano dai 13000 chilometri, circondato d' ogni lato dallo spazio infinito, e che in questo spazio essa si muove con la vertiginosa velocità di circa 30 chilometri per minuto secondo, compiendo ogni anno intorno al sole un enorme giro ellittico, od orbita, il cui raggio è in media di 149 milioni di chilometri. E' per questo che si dice che essa è un « pianeta » del sole.

Il moto di rotazione della terra intorno a sè stessa. — Nessuno ignora che il movimento apparente del sole ed il succedersi del giorno e della notte sono dovuti ad un secondo moto al quale la nostra terra è in preda, e cioè al moto di rotazione sopra sè stessa, paragonabile al movimento di una trottola, ch'essa compie per un intero giro nello spazio di ventiquattro ore all' incirca.

La luna. — Nessuno ignora ancora che la luna, astro 49 volte più piccolo della terra, gira senza posa intorno a questa, e con questa intorno al sole. Si dice perciò che essa è il « satellite » della terra.

Gli altri pianeti che insieme alla terra girano intorno al sole. — Sette altri grandi astri, con caratteri non molto dissimili da quelli del nostro globo e spesso accompagnati com' esso da astri minori, variamente spaziati e variamente, ma sempre enormemente veloci, girano
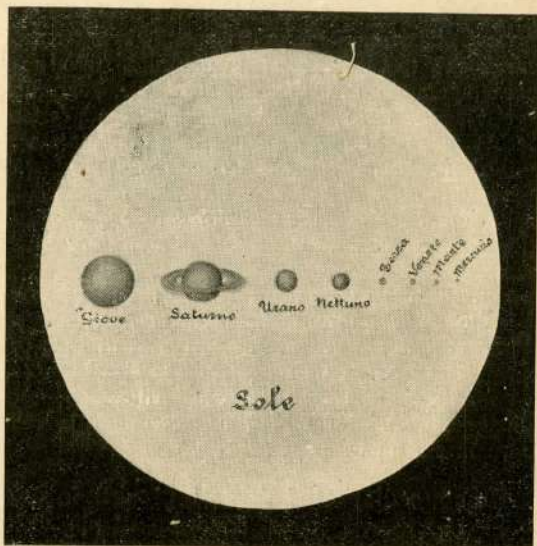
Fig. 2 — *Grandezza relativa del Sole e dei suoi Pianeti.*

pure intorno al grande astro raggiante, 1310000 volte più grande della terra, e occupante il centro di tutto il vasto sistema di corpi celesti, che da esso piglia il nome di sistema solare, e che con esso, come ora si sa, si libra con vertiginoso moto nello spazio infinito.

Il sole. — In tutto il sistema solare, formato dal sole, da otto grandi pianeti, dai satelliti di questi, da qualche centinaio di piccoli pianeti, detti asteroidi, oltre che da

altri corpi celesti, appartenenti alla categoria ancora sì misteriose delle comete, la parte senza confronto preponderante è rappresentata dal sole, il quale infatti ha una massa che è all'incirca 700 volte maggiore di quella di tutti gli altri astri del sistema presi insieme. (Fig. 2) Il sole, questa enorme sfera del diametro di 1387000 chilometri, ha però una densità media molto inferiore a quella della terra, superando di poco quella dell'acqua, ed è formato da materiali che trovasi essenzialmente allo stato gassoso. La sua temperatura, difficilmente calcolabile, è elevatissima, ed anche nello strato superficiale più freddo è certamente di poco inferiore ai 6000 gradi centigradi, e forse anche più. In conseguenza di ciò irraggia nello spazio una quantità sterminata di calore e brilla di una luce intensissima, leggermente gialla; calore e luce che, come vedremo, sono condizione essenziale alla vita organica sulla terra.

Per questi suoi caratteri, il sole va annoverato nella serie delle *stelle* impropriamente dette *fisse*, che si numerano a milioni nel firmamento, brillanti di luce propria variamente intensa. Astri oscuri per sè stessi, superficialmente freddi, e brillanti solo per luce riflessa, sono invece i pianeti, ai quali abbiamo prima accennato e nella cui serie va messa anche la terra.

Come sono disposti i diversi pianeti intorno al sole. — Nel sistema solare, partendo dal più vicino al sole, che ne dista 54 milioni di chilometri, ed andando sino al più remoto, che ne dista 4487 milioni di chilometri, gli otto pianeti finora noti sono: Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove, Saturno, Urano e Nettuno. Fra Marte e Giove si stende la zona dei piccoli pianeti. Dal più interno al più esterno dei pianeti, la distanza loro cresce rapidamente, tanto che l' orbita Nettuno dista da quella di Urano poco meno di quanto questa disti dal sole. I pianeti posti internamente alla fascia degli asteroidi sono tutti molto più piccoli di quelli posti esternamente a questa, ma hanno una densità maggiore e poco diversa da quella della terra. Il più grande di tutti i pianeti è

Giove, il cui volume è 1279 volte quello della terra, mentre la sua massa, data la piccola sua densità, non è che circa 310 volte quella del nostro globo.

Anche gli altri pianeti hanno, come la terra, i loro satelliti. — La terra ha un sol satellite: la Luna. Marte ne ha invece due, però molto piccoli (Fig. 3); otto ne ha Giove, nove Saturno, quattro Urano ed uno Nettuno.

Saturno poi presenta, come ognun sa, una notevolissima
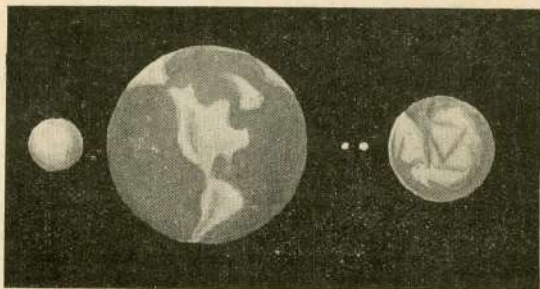
Fig. 3 — *Grandezze relative della Terra, di Marte, della Luna e dei due piccoli satelliti di Marte.*

particolarità, osservata per la prima volta da Galileo: è cioè circondato da un anello, o, meglio, da un sistema di anelli concentrici, variamente brillanti e densi, che son formati da miriadi di piccolissimi satelliti, tanto vicini fra loro da dar l'illusione di un corpo continuo. (Fig. 4)

Tutti i pianeti e tutti i satelliti girano nello stesso senso e giacciono quasi in un medesimo piano. – Ma ciò che più importa ora notare è il senso in cui avviene il movimento dei pianeti sopra sè stessi e intorno al sole e dei satelliti intorno ai pianeti maggiori. E' infatti mirabile sopra ogni cosa l'accordo che, salve alcune eccezioni verificantisi pei pianeti più esterni, questi movimenti

presentano: tutti i pianeti e tutti i satelliti si muovono girando nello stesso senso, da ovest ad est, cioè da ponente a levante, come ogni giorno vediamo anche nel quotidiano movimento del nostro globo. Notiamo ancora che le orbite descritte dai pianeti e dalla massima parte dei loro satelliti giacciono tutte all'incirca sullo stesso piano, ch'è il piano sul quale ruota anche il sole, quasi, direi, come giacciono sopra un medesimo piano i circoli
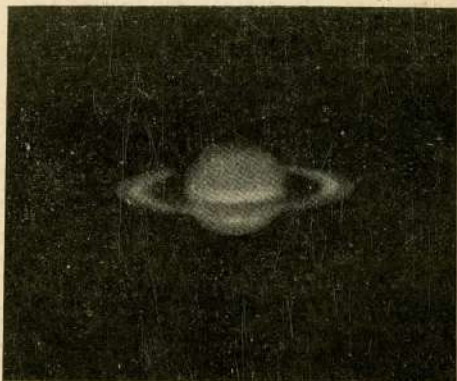
Fig. 4 — *Saturno fotografato dall'Osservatorio Lowell nel settembre 1909.*

concentrici di un bersaglio o le spire di una molla di orologio.

Invece le comete non girano tutte nello stesso senso e non giacciono tutte nel medesimo piano. — Ben diversamente accade per le orbite descritte dalle comete, che sotto molti riguardi possono considerarsi come corpi estranei al nostro sistema, quantunque molte di esse tornino periodicamente a visitarci dopo sterminati viaggi. Ma di questo argomento non è il caso di occuparci qui.

Le stelle. — Se vogliamo uscire dai limiti del sistema solare, ed è necessario il farlo per ben comprendere quanto diremo nelle venture lezioni, dobbiamo invece accennare ad altre categorie di astri che si trovano negli spazi infiniti dell' universo, e che rendono così mirabile lo spettacolo di una notte stellata. Fra queste categorie senza dubbio la più numerosa è quella, già ricordata, delle così dette *stelle fisse*, alla quale appartiene anche il sole,

Fig. 5 — *Nebulosa dell'Orsa Maggiore.*

e che nella volta celeste si distinguono dai pianeti per la loro luce misteriosamente scintillante.

Gli astronomi moderni le enumerano a milioni, ma sono probabilmente in numero infinito, e son tanto distanti da noi che anche coi più potenti telescopi appaiono come semplici punti brillanti. La loro luce presenta tinte alquanto diverse, e se ne conoscono di assolutamente bianche, di azzurre, di gialle, di rosse; tinte queste che l'indagine moderna riconobbe legate alla temperatura alla

quale le stelle si trovano, poichè, pur essendo tutte caldissime, incandescenti, sono più calde quelle di luce azzurra o bianca, e meno calde quelle rosse. Il sole appartiene, come già dicemmo, alla serie delle stelle gialle.

I cumuli stellari e le nebulose. — Esplorando gli spazî siderei, l'occhio è talvolta colpito da una specie di

Fig. 6 — *Nebulosa dei Cani da caccia.*

macchia luminosa, a contorni più o meno vaghi ed indistinti. Armando l'occhio di un potente canocchiale, quelle macchie luminose in taluni casi si risolvono in una moltitudine di stelle, apparentemente vicinissime l'una all'altra, tanto da dare quel singolare aspetto di luce nebulosa; ma in altri casi queste nubecole luminose non sono affatto risolvibili neanche sotto i più forti ingrandimenti. Si tratta allora, non più dei così detti *cumuli* o *coacervazioni stellari*, ma di quegli interessantissimi e, sotto

alcuni punti di vista, misteriosi corpi celesti, che sono appunto chiamati *nebulose.*

La forma ch'esse presentano può talvolta essere affatto irregolare, come ad esempio si osserva nella notissima nebulosa di Orione, che nelle belle notti invernali si può vedere anche ad occhio nudo. Ma molte volte le nebulose hanno una marcatissima forma lenticolare, o ad anello, o, ciò ch'è più notevole, una forma nettamente spirale (Fig. 5), che sembra mostrare in esse un vasto movimento di rotazione. Bellissima sotto questo riguardo è la nebulosa che appartiene alla costellazione dei Cani da caccia: essa è spiraliforme, e presenta un grosso nucleo centrale ed un secondo nucleo all'estremità della spirale più esterna. (Fig. 6)

Le nebulose sono enormi masse di gas luminescenti. — L'indagine moderna è riuscita a stabilire che le nebulose sono costituite da enormi masse di gas luminescenti, estremamente rarefatti, e perciò a temperatura tanto bassa da trovarsi probabilmente a 200 gradi almeno di sotto dello zero dei nostri termometri. Anche per la composizione chimica le nebulose presentano un carattere singolare: esse infatti constano solamente di idrogeno, di elio e di un elemento sconosciuto sulla terra, e che venne appunto chiamato *nebulium.*

Aspetto, temperatura, composizione fanno delle nebulose, che si numerano a migliaia sulla volta celeste, corpi singolarissimi e tali da richiamare vivamente l'attenzione degli osservatori. Vedremo come infatti gli scienzati moderni le abbiano pigliate quale punto di partenza per spiegare l'origine dei mondi.

Le «stelle nuove». — Ricordate le nebulose, le stelle fisse, i pianeti, le comete, poco abbiamo ancora da dire dei corpi che appaiono al nostro occhio nel firmamento, se non vogliamo entrare in questioni che non è qui il caso di trattare. Accenneremo solo di passaggio al curiosissimo fenomeno delle *stelle nuove,* ch'è stato parecchie volte, ma non frequentissimamente, osservato. In punti del cielo non occupati da veruna stella sono in taluni casi com-

parsi improvvissamente nuovi e brillanti astri, con carattere di stella fissa. Di solito lo splendore della stella nuova dopo aver raggiunto un massimo, diminuisce notevolmente, sino a scomparire del tutto nel giro di pochi mesi. Che è avvenuto nel cielo? Di quale immane cataclisma è stato teatro quel lontanissimo punto dello spazio?

Non possiamo ancora rispondere con sicurezza.

«Stelle cadenti» e bolidi. — Di genere affatto diverso e d'importanza senza confronto minore, quantunque per noi sotto altri riguardi notevole, è il fenomeno delle *stelle cadenti* e dei *bolidi*.

Nelle notti serene, e specialmente in certe epoche dell'anno, noi vediamo spesso accendersi e scorrere rapidamente nel cielo un punto brillante, quasi come una stella che si staccasse dal firmamento per cader sulla terra. Si tratta semplicemente di piccoli corpicciattoli, spesso del peso di una frazione di grammo, che si trovano a miriadi negli spazi interplanetari e che la terra incontra nel suo vertiginoso movimento. Quando essi entrano nella nostra atmosfera, l'attraversano con una velocità tanto grande che l'attrito esercitato contro di essa basta a renderli incandescenti e spesso a volatilizzarli completamente. Se tali corpi sono sufficientemente grossi, ciò che accade assai di rado, posson dar luogo ad una meteora molto più grandiosa, diventan visibili anche in pieno giorno, e, incompletamente volatilizzati, cadon fin sul suolo: costituiscono allora i così detti *bolidi* o *meteoriti*.

Vedremo in seguito che importanza essi hanno per il compito nostro.

SECONDA LEZIONE

L'origine del nostro sistema solare

Il filosofo tedesco Kant e l'astronomo francese Laplace furono i primi ad intuire il processo di formazione del nostro sistema solare. — Il problema dell' origine della terra, la cui soluzione fu, come sopra dicemmo, variamente tentata fin dalla più remota antichità, cominciò ad essere scientificamente affrontato solo dopo la metà del secolo decimottavo, quando cioè le più fondamentali verità dell'astronomia erano oramai conquistate, e specialmente quando si aveva oramai un'idea sufficientemente esatta della mirabile individualità del sistema solare.

Il merito di aver intuito, almeno nelle sue linee generali, il processo di formazione del sistema solare, e, conseguentemente, della terra, che di quello fa parte e da quello non si può scindere, spetta ad un sommo filosofo tedesco, Emanuele Kant. Ma chi formulò per il primo una completa teoria per spiegare il grande quesito di cui ora ci occupiamo, e la confortò con tutto il necessario sviluppo matematico, fu un grande astronomo francese, il Laplace, il quale la espose nel suo libro « *Exposition du système du monde* » pubblicato nel 1796, e ripubblicato più completo nel 1808.

La teoria del Laplace, che giustamente va sotto il nome di Kant-Laplace, dopo più di un secolo di incessanti ricerche e di continue scoperte, non risponde più completamente, è d'uopo confessarlo, ai fatti a noi noti, e non son pochi coloro che la ripudiano del tutto.

Ma è pur vero che non fu ancora sostituita da una teoria migliore, altrettanto completa e che dia ragione di un maggior numero di fatti; e, se molti son coloro che la

ritengono inadeguata al suo scopo, è altresì vero che la maggioranza degli scienziati ed i più competenti la ritengono ancora, malgrado le inevitabili sue manchevolezze, una geniale e mirabile costruzione.

Il nostro sistema solare deriva, secondo Laplace, da una grande nebulosa originaria caldissima. — Le scoperte e le osservazioni fatte nel secolo decimottavo da Federico Guglielmo Herschel sulle nebulose ebbero certamente un effetto non piccolo nella formazione della teoria del Laplace, il quale pose, come già il Kant, di cui per altro ignorava l' opera, come primo principio del sistema solare una grande nebulosa, ch'egli supponeva caldissima e dotata di un lento movimento di rotazione sopra sè stessa.

Quali sono i tre fatti fondamentali a base della teoria del Laplace. — A base della sua teoria, detta di conseguenza *nebulare,* il Laplace poneva i fatti seguenti, che, per quanto era noto ai suoi tempi, si verificavano senza eccezione nel sistema solare : 1° La concordanza dei movimenti di rotazione e di rivoluzione dei corpi componenti il sistema, che avvengono tutti da ovest ad est, ossia sono, come si suol dire, diretti. 2° Le orbite dei vari pianeti sono pressochè circolari, e concentriche. 3° Queste orbite si svolgono all'incirca sul medesimo piano, che è quello equatoriale del sole. Fatti questi veramente mirabili e tali che bastano da soli a dimostrare l' unità d'origine del sistema.

Effetti del progressivo raffreddamento della nebulosa originaria. — Secondo il Laplace dunque, in un tempo estremamente remoto, tutta la materia, che attualmente trovasi addensata a formare il sole ed il corteo de' suoi pianeti, si presentava in uno stato di completa disaggregazione a costituire un'enorme nebulosa, estesa probabilmente sin oltre l'orbita di Nettuno, il pianeta più esterno di cui noi abbiamo conoscenza.

Questa nebulosa iniziale, caldissima, dotata di un mo-

vimento di rotazione sopra sè stessa, simile a quello che affettano le nebulose che noi ora vediamo, dovette irradiare nello spazio freddissimo, dal quale era circondata d'ogni parte, una grande quantità di calore. Il progressivo raffreddamento, che da questa irradiazione necessariamente conseguì, dovette portar con sè due effetti : una

Fig. 7 — *Grande nebulosa di Andromeda* (esempio di una nebulosa lenticolare con un evidentissimo nucleo centrale).

diminuzione di volume della nebulosa stessa, ed un aumento graduale della sua velocità di rotazione, che la meccanica dimostra con quella necessariamente legato.

Formazione del nucleo centrale e disposizione lenticolare della nebulosa restante. — In un secondo

stadio adunque nella nebulosa solare deve essersi a poco a poco formato un nucleo centrale, sensibilmente più denso, il quale verrà poi costituendo il sole, e intorno a questo la materia della nebulosa, animata da un movimento di rotazione sempre più rapido, deve aver assunto una disposizione marcatamente lenticolare, perchè in essa, col crescere della rapidità del moto, si è proporzionatamente accresciuta anche la forza centrifuga (Fig. 7). Chi, tenendo un corpo pesante all'estremità di una cordicella, lo faccia rapidamente rotare, e ponga attenzione allo sforzo che deve esercitare per vincere la forza centrifuga che in quello così si suscita, può immaginare quale effetto deve aver avuto l'aumento progressivo della velocità di rotazione sulla nebulosa iniziale.

Il distaccarsi delle parti periferiche della nebulosa sotto l'azione della forza centrifuga. — Le parti periferiche di questa, vincendo la forza di attrazione, debbono essersi, anzi, in un dato momento, staccate sotto forma di masse anulari roteanti intorno al centro e gradatamente dilatantisi, simili, se vogliamo ricorrere ad un grossolano confronto, agli anelli di fumo che qualche volta vediamo uscire dal fumaiolo delle locomotive.

Formazione dei pianeti e dei satelliti. — Tali anelli non poterono avere una lunga durata: ben presto, pel graduale loro assottigliamento e per qualche disuguaglianza della loro massa, vennero a spezzarsi, ed i frammenti, ravvoltolandosi sopra sè stessi, vennero a formare altrettanti corpi sferoidi, i quali, lanciati a varia distanza dal centro, conservarono naturalmente, insieme al moto rotatorio, il loro movimento di rivoluzione intorno al nucleo della nebulosa. Così si sarebbero originati i pianeti, ed è facile intendere che questi, e specialmente i più voluminosi, debbono aver ripetuto in proporzioni ridotte il fenomeno stesso di loro formazione, generando i satelliti, che li accompagnano nell'incessante cammino da essi compiuto intorno al sole.

Gli anelli di Saturno, secondo la teoria del Laplace,

offrirebbero ancora all'occhio meravigliato dell'astronomo un esempio dello stadio anulare della formazione planetaria.

Effetti differenti che il raffreddamento ulteriore ha avuto nel sole e nei diversi pianeti. — Formato il sole, nati i pianeti ed i loro satelliti, diversa fu la sorte alla quale questi corpi celesti andarono incontro. Tutti debbono all'inizio aver presentato i caratteri e l'aspetto che noi ora vediamo nelle stelle fisse: debbono cioè esser stati astri infuocati e brillanti di vivissima luce propria. Ma, mentre il sole, con la sua enorme massa, centinaia di migliaia di volte superiore a quella della terra, conserva ancor oggi il suo carattere di stella fissa, e, tutt'al più, ha mutato la sua luce da bianca o da azzurra in giallognola, i pianeti tutti hanno subìto un raffreddamento senza confronto più rapido in ragione della loro massa relativamente così piccola. Nell'ulteriore raffreddarsi dei corpi del sistema solare dopo il loro nascere si è cioè verificato quanto noi ogni giorno vediamo coi nostri occhi: a parità di ogni altra condizione, i corpi, posti in un ambiente freddo, si raffreddano, come pure in condizioni opposte si riscalderebbero, con velocità tanto maggiore quanto minore è la loro massa. La minestra, scodellata, si raffredda più in fretta di quanto non faccia se è lasciata nella zuppiera: non è vero?

Per l'identica ragione fisica noi vediamo che i pianeti più piccoli sono solidi e freddi, e la luna è più fredda della terra, mentre Giove, il massimo dei pianeti, è forse ancora assai caldo e quasi rovente.

Dimostrazione sperimentale dell'ipotesi del Laplace. — Tale, adunque, nelle sue linee generalissime, l'ipotesi del Laplace, che spiega soprattutto in modo mirabile il mirabile accordo, da noi più volte notato, che esiste nella posizione, nel moto, nella direzione dei pianeti del sistema solare.

Nè vogliamo lasciar di notare che la possibilità meccanica del sistema del Laplace fu anche dimostrata sperimentalmente. E' rimasta infatti celebre l'esperienza del

fisico Plateau, il quale con un ingegnoso artificio riprodusse in laboratorio le caratteristiche del processo immaginato dal Laplace.

Il Plateau introdusse una goccia d'olio in una miscela di acqua e alcool di eguale densità. In queste condizioni la goccia d'olio rimane sospesa nel liquido, senza galleggiare nè affondare, ed assume, come una bolla di sapone nell'aria, la forma di una sfera. Una asticina di acciaio viene poi fatta con cura passare attraverso la sferetta d'olio e fatta rapidamente girare mediante un movimento d'orologeria. Il moto dell' asticina si propaga in tal modo a poco a poco alla goccia, la quale si mette a rotare con velocità sempre maggiore. Si osserva allora che gradualmente la goccia piglia la forma lenticolare, schiacciandosi ai poli, poi da essa si staccano equatorialmente successivi anelli, i quali si rompono, e ripetono con molta perfezione il processo, come noi lo abbiamo precedentemente descritto.

E, prima di passare ad altre considerazioni, dobbiamo ancora rilevare due fatti che hanno per la teoria del Laplace, come per qualsivoglia altra, una fondamentale importanza: la composizione chimica del sole e la temperatura interna della terra.

In favore della ipotesi del Laplace sta anche la composizione chimica del sole. — Come si sia giunti alla determinazione chimica di molti degli elementi che si trovano a costituire il sole e gli astri, distanti da noi milioni e miliardi di chilometri, e come si sia giunti ad una determinazione che ha una certezza, si può dire, matematica, non è cosa facile esporre in modo preciso ed assolutamente esatto nel giro di pochi periodi. Cercheremo di darne un' idea elementarissima, rimandando per una trattazione completa alle opere di fisica e di chimica.

Come si è riusciti a determinare la composizione chimica del sole. Lo spettroscopio. — Ognuno sa che, facendo passare un raggio di luce bianca attraverso un prismetto di vetro, questo raggio esce dal prisma scisso

in un ventaglio di luci colorate. Cogliendo questa luce uscente dal prisma sopra un foglio di carta bianca, si ha infatti una striscia, che presenta tutti i colori dell'iride sfumantisi uno nell'altro e che vien chiamata col nome di *spettro*. Un simile spettro si può ottenere con la luce del sole, e dicesi *spettro solare*. Ma se noi, invece della luce bianca, adoperiamo una luce colorata, quale per esempio è emessa da un fuoco di bengala, in cui la tinta è ottenuta volatilizzando ad alta temperatura un composto metallico appropriato, vediamo che lo spettro che se ne ottiene è formato, non più da una striscia continua colorata di tutti i colori dell'iride, ma da una serie più o meno numerosa di linee sottili separate e colorate variamente a seconda dei casi. Così, per esempio, se bruciamo in una fiamma a spirito un po' di sale da cucina, che, come noi sappiamo, è un composto del metallo *sodio* col *cloro*, si ottiene una caratteristica luce gialla, il cui spettro è formato da due sottili linee di questo colore vicinissime tra loro e collocate, rispetto alle luci di uno spettro ordinario, nella zona del giallo, in una posizione assolutamente fissa. Colori diversi e linee diverse nello spettro, otteniamo invece se adoperiamo altri composti metallici; ma, ciò che più importa, le linee luminose che son date da un corpo non corrispondono mai a linee di altri corpi, di guisa che di leggeri s'intende come dall'esame dello spettro di un corpo si possa giungere facilmente ad identificarlo, tenendo conto della posizione delle linee dello spettro, cosa che si fa con speciali apparecchi detti appunto *spettroscopî*. L'importanza dello spettroscopio nello studio chimico è di conseguenza grandissima, ed anche più grande apparirebbe al lettore se l'indole di questo volumetto mi permettesse di accennare a tutto il complesso di determinazioni che con quello si può fare. Basti dire che lo spettroscopio ci permette non solo di determinare la composizione chimica di un corpo, ma anche il suo stato, la sua temperatura e persino il suo movimento, se, come accade di lontani astri, esso si sposta con grandissima velocità nello spazio.

Per tornare al nostro argomento diremo che il Wollaston

e, dopo di lui, il Fraunhofer, al principio del secolo decimonono, osservarono che lo spettro solare, invece di essere formato da una striscia luminosa continua, quale è quella della luce bianca prodotta, per esempio, da un filo metallico incandescente, è interrotto da una numerosissima serie di sottili linee « scure » note appunto col nome di *linee di Fraunhofer*, le quali occupano precisamente il posto delle linee colorate dello spettro dei corpi noti alla chimica.

Al Kirchhoff ed al Bunsen spetta il merito di aver trovata la spiegazione di queste linee di Fraunhofer, e di aver contemporaneamente dato un nuovo e grande impulso alla ricerca spettroscopica. Questi autori dimostrarono che i vapori dei corpi a temperatura elevata hanno la proprietà di assorbire la luce che essi stessi possono emettere. Ciò posto, le righe del Fraunhofer trovano la loro naturale spiegazione quando noi ammettiamo che nel sole, sopra uno strato profondo incandescente ed atto a dare uno spettro continuo, si trovi un'atmosfera di vapori ad alta temperatura. La luce emessa dallo strato profondo, passando attraverso questo strato di vapori, è assorbita in corrispondenza delle linee proprie di ciascun corpo, e giungendo a noi ci dà, non più uno spettro continuo, ma uno spettro interrotto da tante linee scure quante e quali sono quelle degli spettri dei corpi che si trovano nell'atmosfera solare. Due linee scure al posto di quelle del sodio, nello spettro solare, basteranno adunque a provarci in modo irrefutabile la presenza di questo elemento nel sole, e lo stesso può dirsi per molti altri corpi.

In questo modo, confrontando diligentemente lo spettro dei varî elementi noti alla chimica con la posizione delle linee di Fraunhofer gli scienziati hanno potuto constatare nel sole la presenza di numerosi elementi, quali il ferro, il magnesio, il calcio, il rame, lo zinco, il nichel, il cromo, ecc. e, quel che più importa ora a noi, hanno stabilito in modo quasi assoluto che la composizione elementare del sole è identica a quella della terra.

L'importanza di quest'ultima constatazione non può certo sfuggire a nessuno: l'identità di composizione è ben d'ac-

cordo col supposto che sole e terra abbiano in certo modo comune origine.

In favore della ipotesi del Laplace sta, infine, anche la temperatura interna della terra. — Il secondo argomento al quale abbiamo sopra accennato è quello della temperatura della terra, ch'è anche più importante per noi.

Se noi, mediante una trivellazione, od un pozzo di miniera, o in altro modo ancora, dalla superficie della terra ci approfondiamo entro la sua crosta, constatiamo che, dopo pochissimi metri, si raggiunge uno strato in cui la temperatura della roccia è indipendente dalle variazioni esterne e si mantiene costantemente eguale alla media annuale della temperatura esterna del luogo. Al di sotto di questo strato, di solito la temperatura della roccia si accresce gradualmente, di mano in mano che ci allontaniamo dalla superficie. Tale aumento di temperatura è più o meno rapido a seconda del luogo o della natura delle rocce costituenti il sottosuolo, ma in profondità va facendosi pressochè costante ed eguale qualunque sia il punto della terra in cui ci troviamo. In cifre tonde si può dire che, in media, per ogni cento metri di profondità la temperatura dell'interno della terra aumenta di tre gradi centigradi, e questa media si è stabilita sperimentalmente sino alla profondità massima di due chilometri circa; ciò che invero non è molto in confronto dei 6300 e più chilometri che rappresentano il raggio terrestre.

Se l'aumento di temperatura in profondità si mantiene in queste proporzioni anche solo per qualche decina di chilometri dalla superficie, cosa certo assai probabile, ognun vede quale alta temperatura debba esistere nell'interno del nostro globo. A sessanta chilometri appena sotto di noi, la temperatura non deve essere lontana dai 1800°, temperatura questa che sarebbe sufficiente a mantenere allo stato di fusione tutte le sostanze che costituiscono la crosta terrestre.

Ed altri fatti ancora provano che la temperatura interna del globo è assai alta. Le sorgenti termali, i vulcani, i

quali eruttano lave che al momento della loro emissione hanno una temperatura osservata non lontana da 1300°, ed altri fenomeni ancora, che la geologia osserva e studia, tendono a provare che nell'interno della nostra terra regnano condizioni tali, quali noi abbiamo affermato.

Ora, si domandano gli scienziati, quali sono le cause di questo calore interno? La risposta che ha senza confronto il più alto grado di verosimiglianza è che questo enorme calore immagazzinato nel nucleo terrestre sia il residuo del calore originario del nostro globo; di quel calore cioè che ha fatto della terra al suo inizio un astro brillante di luce propria come una stella fissa.

Obbiezioni all'ipotesi del Laplace. — L'ipotesi del Laplace dunque, non solo è in buon accordo con molti fatti accertati dall'astronomia, ma ci offre una spiegazione molto logica anche di alcune delle condizioni constatate nello studio diretto del globo da noi abitato.

Non possiamo però chiudere la trattazione, per quanto sommaria, di questo importantissimo argomento senza accennare a qualcheduna delle più fondamentali obbiezioni che furon mosse alla ipotesi Kant-Laplace e che trovarono la loro base in fatti messi in luce dalle osservazioni più recenti.

Una gravissima obbiezione è quella del così detto moto retrogrado dei satelliti di Urano e di Nettuno, e del satellite più esterno di Saturno, i quali si muovono in senso perfettamente opposto a quello voluto dall'ipotesi. Inoltre le loro orbite si svolgono in piani molto inclinati su quello in cui press'a poco si muovono quasi tutti i pianeti: e considerazioni analoghe valgono per la posizione dell'asse di rotazione dei pianeti più esterni. Nessuno più ora crede che gli anelli di Saturno, formati, come dicemmo da miriadi di piccolissimi satelliti, possano invocarsi quale esempio degli anelli iniziali della nebulosa, nè viene accettata da tutti l'idea del Laplace per quanto riguarda la forma, la temperatura, l'estensione, il moto di questa, come pure per quanto riguarda l'ordine di formazione degli anelli planetarî.

Molte di queste obbiezioni furono rimosse dai sostenitori della ipotesi del Laplace, i quali vennero modificandola nei particolari per metterla d'accordo coi nuovi fatti osservati, ma molte rimangono ancora senza risposta soddisfacente.

L'ipotesi del Laplace resta tuttavia la più soddisfacente di qualsiasi altra. — Però, se non pochi sono coloro che, come dicemmo sin da principio, specie all'inizio del nostro secolo, ritennero e ritengono la idea del Laplace doversi del tutto abbandonare, ed hanno tentato di sostituirle altre teorie, come quella affatto recente degli astronomi Moulton e Chamberlin, detta *spirale* o *planetesima*, che pone all'inizio del sistema solare una nebulosa spirale con moto vorticoso, o come quella del See, che ritiene i pianeti ed i satelliti corpi estranei alla nebulosa da questa catturati, molti sono pure coloro che ritengono ancora la ipotesi del Laplace come vera nelle sue linee fondamentali e rispondente al momento attuale della evoluzione del nostro sistema.

TERZA LEZIONE

La solidificazione graduale della terra

Stato originario della terra completamente gassoso e incandescente. — Quando la terra è nata, qualunque sia stato il modo di sua origine, dovette, con ogni probabilità presentare una temperatura enormemente elevata, anche nella sua parte superficiale. In tali condizioni, che noi difficilmente possiamo immaginarci con esattezza, perchè troppo distanti da quelle attualmente esistenti, o realizzabili per esperienza nei laboratorî, nessun corpo solido, e nemmeno liquido, doveva esistere sul nostro globo. Sappiamo infatti che alla temperatura regnante nel sole e nelle stelle, non diversa da quella iniziale della terra, anche i corpi più difficilmente fusibili e volatilizzabili passano rapidamente allo stato di gas, ed in questo stato esistono su quegli astri, come irrefutabilmente ci prova lo spettroscopio.

E ancor qualche cosa di più possiamo dire: la terra era non solo formata da un globo completamente gassoso, ma i gas che la componevano si trovavano in uno stato di completa dissociazione, ossia eran costituiti, per la massima parte almeno, da corpi elementari liberi. Ognuno sa, di fatti, che lo stato di corpo composto, di quei corpi cioè che, sottoposti ad opportuni trattamenti fisici e chimici, si possono scindere in due o più altri, a lor volta in nessun modo scomponibili, è nella gran maggioranza dei casi legato a condizioni di temperatura relativamente bassa. Innalzando sufficientemente la temperatura, i corpi composti, come ad esempio l'acqua, il sale, o qualunque altro, non solo fondono e volatilizzano, ma anche se fortemente compressi, si scindono alla fine nei loro componenti elementari, sola eccezione facendo nei limiti delle

temperature osservate sugli astri, alcuni corpi composti, i quali si generano con forte assorbimento di calore, e la cui presenza fu constatata anche nel sole, come il cianogeno e diversi idrocarburi.

Noi dobbiamo dunque immaginare la terra, all'inizio della sua vita come astro indipendente, formata da un immane globo di gas infuocati e pressochè completamente dissociati, ben lontani cioè dal presentare quella enorme complicazione strutturale e di composizione che affatica in oggi i chimici i quali cercano di scrutare i segreti del l'intima costituzione dei corpi terrestri.

Rapido passaggio della terra da astro luminoso ad astro oscuro. — Per quanto tempo la nostra terra è rimasta in questo stato di astro brillante nello spazio, come una piccola stella che accompagnasse il sole nel suo moto instancabile? Difficile è il rispondere a questo quesito; ma se noi teniamo conto della massa relativamente minuscola del pianeta terrestre e della presumibile sua temperatura iniziale, dobbiamo concludere che quel tempo non sia stato molto lungo, geologicamente e astronomicamente parlando, s'intende. Alcuni autori assegnano infatti alla terra uno stadio stellare di qualche secolo: forse esso non è durato più di qualche millennio. La grande quantità di calore irraggiata dalla terra nello spazio freddissimo che la circonda abbassò di certo rapidamente la temperatura del suo strato superficiale, tantochè essa passò presto dalla fase di stella bianca, caldissima, a quella di stella gialla, in cui trovasi tuttora il sole, ed a quella di stella rossa, vicina cioè a spegnersi. Rosseggianti furon dunque gli ultimi sprazzi di luce che la terra lanciò nello spazio infinito prima di passare al più umile stadio di astro scuro, brillante solo di luce riflessa.

Formazione della prima esile crosta solida. — Questo stadio, in cui dura tutt'oggi, si iniziò quando la temperatura superficiale del nostro globo scese tanto in basso da permettere il formarsi della prima esile crosta solida, la quale, rutilante da principio ed ancor fluttuante

sulla massa fluida incandescente, divenne ben presto stabile e scura, spegnendo completamente la vita luminosa del nostro pianeta. E, poichè la temperatura alla quale passano allo stato solido le sostanze meno fusibili a noi note è intorno ai 2000°, tale temperatura possiamo all'incirca assegnare alla superficie terrestre in quel tempo.

La terra adunque, in un dato momento della sua vita, dovette presentarsi come un globo ancor caldissimo e fluido, ravvolto da una sottile crosta solida, spesso turbata, rotta e sconvolta dai movimenti delle masse sottostanti infocate, mal rattenute da quel primo debole freno, e tutto vestito da una spessa coltre di gas, formanti la primitiva atmosfera e costituita da tutte quelle sostanze che a 2000° non possono esistere alla superficie della terra che sotto forma gassosa.

Questo momento, come vedremo in appresso, è di grande importanza per la terra, perchè segna veramente l'inizio di una nuova êra della sua storia, e muta in modo nettissimo il ritmo della sua vita. Ma, prima di trattare delle ulteriori vicende del nostro pianeta, dobbiamo brevemente accennare ad un fenomeno, che si è disegnato essenzialmente nel suo stadio stellare e che avrà una portata enorme nei tempi successivi. Vogliamo dire cioè del fenomeno che i chimici chiamano di liquazione, e che noi con parola meno esatta, ma di più facile comprensione possiamo chiamare di smistamento, il quale deve essersi manifestato necessariamente nella massa terrestre, tutta fluida, ma formata da una serie di sostanze dotate di peso molto diverso.

Smistamento delle sostanze, le più pesanti al centro e le meno pesanti alla superficie. — Ognuno sa infatti che volumi eguali dei corpi a noi noti, elementari o composti, a parità di ogni altra condizione (temperatura, pressione, ecc.), presentano peso assai differente a seconda dei casi: un litro d'idrogeno pesa meno di un litro d'ossigeno, un litro d'olio pesa meno di un litro d'acqua, un decimetro cubo di alluminio pesa assai meno di un decimetro cubo di ferro. Ognuno sa pure che, in piccola massa,

due o più corpi mescolati e continuamente rimossi, non si separano semplicemente pel loro diverso peso, portandosi in sù i leggieri e in basso i pesanti, specie se sono miscibili in modo perfetto, come ad esempio l'acqua e il vino. Ma, se si tratti di grandi masse e di corpi dotati di peso molto differente, le miscele di corpi diversi tendono a separarsi in istrati formati da sostanze sempre più pesanti di mano in mano che dalla superficie ci portiamo verso il profondo. Così, ad esempio, il miscuglio di gas che costituisce l'aria atmosferica, secondo le più recenti osservazioni dei metereologi, è formato, in basso, da una notevole proporzione di ossigeno; più in sù quasi unicamente da azoto, meno pesante di quello; più in alto ancora, da una parte preponderante di idrogeno, ch'è il corpo più leggero a noi sicuramente noto.

Ora, una separazione dello stesso genere deve, secondo la più legittima supposizione, essersi manifestata anche nel primitivo globo gassoso della terra, ed i corpi più pesanti debbono essersi addensati di preferenza verso il centro, mentre i più leggeri si sono portati verso la periferia, disponendosi in zone di densità gradualmente decrescente.

Il nucleo terrestre deve dunque risultare essenzialmente di elementi metallici. — Se questa ipotesi è vera, il nucleo terrestre dovrebbe adunque risultare essenzialmente di elementi metallici, che sono i più pesanti. Alla superficie la regola si manifesta in modo pressochè perfetto: infatti, sulla crosta solida della terra, si stende quasi ovunque lo strato delle acque oceaniche, e su questo strato quello dell'atmosfera, esso pure a zone di densità decrescente verso l'alto, come or ora dicemmo.

Prove indirette che dimostrano l'esistenza di un nucleo terrestre metallico. Il peso specifico della terra. — Vediamo ora, poichè nessuno mai potè esplorare gli strati profondi del globo, se ci sono prove indirette che valgano a dimostrare l'esistenza di un nucleo terrestre metallico.

Una prima prova, veramente fondamentale a questo pro-

posito, sta nell'alto peso medio della terra. Con una serie di calcoli, che non è qui il caso di esaminare, gli astronomi sono giunti a stabilire che il nostro globo pesa all'incirca cinque volte e mezza di più che se fosse interamente formato da acqua, e circa il doppio di quello che peserebbe se fosse interamente formato dalle rocce che costituiscono la parte superficiale del globo stesso, da noi direttamente esplorabile. Qual'è la conseguenza logica che si ricava da questo fatto? Che la terra deve contenere nel suo interno, ossia là dove non siamo mai potuti penetrare, una notevole quantità di corpi pesanti, metallici, i quali, col loro alto peso, facciano in certo modo compenso ai corpi relativamente tanto leggeri che si trovavano verso la superficie. E non solo questo possiamo dire: possiamo ancora affermare che, con ogni probabilità, il nucleo terrestre consta essenzialmente di *ferro,* di questo importantissimo elemento che sarebbe di conseguenza non solo il primo fra i metalli utili, ma anche il più abbondante fra i corpi costituenti il nostro globo. Infatti il ferro, il cui peso specifico è 7,5 , ossia che a parità di volume, pesa sette volte e mezza più dell'acqua, è fra gli elementi quello che meglio si accorda col peso medio della massa superficiale terrestre per dare quel peso di 5,5 che abbiamo detto rappresentare il peso medio di tutta la terra.

Grande diffusione del ferro nel sole, col quale la terra ebbe comune l'origine. — Notiamo inoltre che il ferro, come dimostrano le osservazioni spettroscopiche, è uno degli elementi più diffusi ed abbondanti nel sole e negli astri; se la terra formò un tempo corpo unico col sole, nulla di strano vi sarebbe in una preponderanza di questo elemento anche nella costituzione del nostro globo.

Abbondanza del ferro nella composizione di meteoriti. — Altro fatto notevole è l'abbondanza del ferro nella composizione dei meteoriti, di questi strani messaggeri che gli spazî interplanetarî mandano di quando in quando a cadere sulla terra, e che noi abbiamo più sopra

ricordati. I meteoriti infatti, che, secondo le più legittime ipotesi, derivano dal dissolvimento delle comete o di altri astri dell'universo, contengono di regola notevoli quantità di ferro e non di rado ne sono, si può dire, interamente formati. Se gli altri astri risultano di una parte predominante di ferro, non si vedrebbe ragione perchè la terra, che alla superficie non contiene che una percentuale relativamente bassa di questo elemento, facesse eccezione alla regola generale.

Proprietà magnetiche della terra. — Un'ultima osservazione che si può fare a questo proposito riguarda le proprietà magnetiche del nostro globo. Ognuno sa che la terra si comporta come un'enorme calamita, i cui poli coincidono press'a poco coi poli geografici, ossia con le estremità dell'asse di rotazione della terra stessa; e ognuno sa che l'ago calamitato delle bussole funziona appunto in grazia di questa proprietà del nostro globo, essendo i poli degli aghi attirati e diretti dai poli magnetici della terra. Posto questo, è veramente significativo il fatto che fra gli elementi a noi noti, il ferro sia senza confronto il più magnetico di tutti.

La terra consta dunque di una massa centrale metallica rivestita da una crosta pietrosa. — Dunque, per riprendere il filo del nostro ragionamento, diremo che, non solo la logica ci induce a credere nell'antichissimo svolgersi di fenomeni di liquazione fra gli elementi costituenti il globo infuocato della terra, ma quanto sappiamo intorno al peso ed alle proprietà magnetiche della terra stessa, intorno alla composizione chimica degli astri, svelataci dall'indagine spettroscopica e dall'esame diretto dei meteoriti, ed altre considerazioni ancora, che qui non è il caso di esaminare, ci fanno con buon fondamento supporre che veramente nel nostro globo gli elementi siano disposti, almeno nelle linee generalissime, in ordine di decrescente peso dal nucleo verso la periferia. La terra consterebbe cioè di una massa centrale essenzialmente metallica e prevalentemente ferrea e pesante; su questa si

troverebbe, come più sopra dicemmo, una crosta pietrosa, meno pesante e paragonabile grossolanamente alla scorie di un forno di fusione, costituente il suolo solido sul quale noi viviamo; su questo si stenderebbe, a rivestirlo incompletamente, e ne vedremo la ragione, una sfera acquea; e infine uno spesso involucro gassoso, l'atmosfera, denso a fior di terra, e sempre più rarefatto verso le alte regioni, ravvolgerebbe il tutto.

Tale la successione attuale delle zone sferiche della terra, che troverebbe però le sue lontane origini dai fenomeni e dai rivolgimenti manifestatisi nell'antichissima fase stellare del nostro astro, e che dovette trovarsi già disegnata nelle sue linee generali al momento in cui, come dicemmo in addietro, sulla massa rovente del globo si formò la prima ed incerta pellicola solida.

Formazione graduale di tale crosta solida continua. — Il raffreddamento della terra avviene dall'esterno verso l'interno, come avviene in ogni corpo caldo che si trovi immerso in un ambiente freddo, e, di conseguenza, fu alla superficie di essa che si formarono le prime masse solide, quando la temperatura scese sotto i duemila gradi. E, poi che i corpi solidi in generale pesano di più che le masse fuse della medesima composizione, tali primitive placche solide debbono aver da principio presentato dei movimenti di sprofondamento e di fluttuazione, simili a quelli che forse si verificano adesso sulla superficie del pianeta Giove, il quale manifesta non rare variazioni nel suo splendore e la comparsa improvvisa e successiva scomparsa di aree roventi.

In una fase successiva, il raffreddamento superficiale della terra deve aver prodotto alfine la formazione di una crosta solida continua, costituita dai materiali pietrosi meno facilmente fusibili e simili, con ogni probabilità, ad alcune delle lave dei nostri vulcani.

Il formarsi di tale crosta solida continua diminuisce la rapidità del raffreddamento della massa interna. — Questo momento, come sopra avvertimmo,

ebbe per la terra un'enorme importanza. Segnò infatti una nettissima e brusca diminuzione della quantità di calore e luce ch'essa disperdeva nello spazio in quei lontanissimi tempi, poi che la crosta solida della terra agì, come agisce del resto anche in oggi, da coltre protettiva sopra il nucleo interno caldissimo, quasi nella stessa guisa in cui agisce una folta pelliccia od una grossa veste di lana sopra il calore del nostro corpo in un rigido inverno. Ed invero i materiali rocciosi che formano la superficie terrestre lasciano passare e disperdono il calore assai meno rapidamente di quanto non facciano i metalli, addensantisi negli strati profondi della terra stessa. Quando adunque la crosta solida del nostro globo ebbe raggiunto uno spessore abbastanza considerevole, il suo raffreddamento procedette molto più lentamente che per lo addietro, e la terra impiegò un tempo relativamente lungo a passare dalla temperatura di 2000° alle temperature inferiori. È quasi superfluo notare poi, che, aumentando gradatamente lo spessore della crosta terrestre di mano in mano che questa si raffreddava, ed agendo essa da coltre protettiva sempre più perfetta, la rapidità dell'ulteriore raffreddamento deve essere continuamente diminuita; di guisa che, ad esempio, nei tempi attuali la velocità del raffreddamento è così piccola da sfuggire completamente alle indagini più accurate e delicate.

Composizione, spessore e pressione della primitiva atmosfera. — Quale era la natura, la composizione, lo spessore, la pressione dell'atmosfera nei primi tempi della terra? Difficilmente possiamo farcene idea noi che liberamente ci moviamo in un'aria leggera, limpida, trasparente e che respiriamo a pieni polmoni il buon ossigeno alimentatore del nostro sangue.

Tutte le sostanze che si trovano alla superficie della terra e che alla temperatura di 1500-2000 gradi non possono sussistere che allo stato di gas in allora dovevano entrare a far parte di una spessa e densa atmosfera, la quale assorbiva certo grande parte di quel calore e di quella luce vivificanti, inviate dal sole sul nostro suolo e

che, come vedremo in seguito, avranno nella vita del globo un'enorme importanza quando l'atmosfera stessa sarà divenuta limpida come la vediamo noi ora.

Per accennare solo a qualche fatto particolare, basterà che noi pensiamo che tutta l'acqua esistente sulla terra doveva trovarsi allo stato di gas ad appesantire in modo enorme l'atmosfera. Senza tener conto dell'acqua che sino a grande profondità sotto la superficie del suolo si trova ad inumidire le rocce o che si trova combinata nei minerali idrati, e la cui quantità non è facilmente calcolabile, la sola massa acquea degli oceani, se fosse egualmente ripartita sulla superficie della terra, vi formerebbe uno strato di 3000 metri all'incirca di spessore. Per la sola maggiore umidità adunque, poi che, come ognun sa, uno strato di 10 metri d'acqua esercita una pressione pressochè uguale a quella dell'aria, in allora la pressione atmosferica doveva essere trecento volte superiore all'attuale; la pressione, in altre parole, che noi incontriamo a mille metri e più sotto il suolo e che basterebbe a piegare come fuscelli le più grosse travi di ferro di una galleria mineraria. E che diremo di tutte le altre sostanze che, ora solide e rigide, dovevano in quei remotissimi tempi, fluttuare come spessi vapori sul suolo infuocato e malfermo della terra?

Le prime condensazioni del vapore acqueo e la formazione degli oceani. — Nel raffreddamento del nostro pianeta, un altro punto segna un'importante tappa nel corso dei fenomeni superficiali che questo presentò; quando la temperatura scese sotto i 360 gradi centigradi, l'acqua, che sino a questo momento non era esistita se non sotto forma gassosa, potè precipitare sulla crosta solida, sotto forma di liquida pioggia. Noi sappiamo infatti che a temperature superiori a 360°, ch'è la così detta temperatura critica dell'acqua, questa non può mantenersi liquida neanche se la sottoponiamo ad un'altissima pressione, mentre a temperature inferiori noi possiamo conservarla liquida purchè sia sufficientemente compressa; ed ognuno sa, a cagion d'esempio, che l'acqua bolle, ossia

passa allo stato di vapore, a 100 gradi centigradi sotto la pressione di una atmosfera, mentre bolle a temperatura sempre più alta di mano in mano che la pressione aumenta.

Sebbene, adunque, non possiamo affatto precisare la temperatura alla quale l'acqua cominciò ad esistere sotto forma liquida sulla terra, perchè non sappiamo quale pressione l'atmosfera allora vi esercitasse, possiamo però affermare che quella temperatura fu sotto i 360 gradi e, probabilmente, molto superiore ai 100°.

Il momento in cui le enormi masse d'acqua costituenti, insieme con chissà quali altre sostanze, la calda e spessa atmosfera terrestre cominciarono a cadere sotto forma di pioggia sulla prima crosta solida del globo ancor calda e sconvolta da immani eruzioni vulcaniche, segna, per così dire, una grande epoca nella storia della terra. Da quel momento data il formarsi degli oceani, il delinearsi cioè di quella idrosfera o involucro liquido della terra, alla quale abbiamo accennato più sopra, e che diventerà ben presto causa e sede dei più grandiosi fenomeni di trasformazione della superficie terrestre.

La prima apparizione della vita organica della terra. — Come furono i primi oceani della terra? Quale la loro composizione? Quale la loro distribuzione, il loro movimento? Nessuno certo può osar di rispondere a queste domande. Un altro punto vogliamo però segnare in questo sterminato periodo primordiale della terra, che potremmo chiamare la preistoria della geologia; ed è il momento in cui le acque dell'oceano primitivo scesero sotto la temperatura di 55 gradi centigradi. Quella temperatura cioè che, segnando il punto di solidificazione delle sostanze albuminoidi, fondamentali per la vita organica, vegetale ed animale, segna anche, secondo la più comune opinione, il limite nella possibilità ad esistere degli esseri viventi sulla terra.

Non è nostro compito trattare ora il gravissimo quesito del modo di comparsa della vita sul nostro pianeta, quesito altrettanto, e forse più grave di quello della forma-

zione dei mondi, e che attende ancora la sua soluzione. A noi basta aver posto data allo svolgersi sulla terra della vita organica, che, oltre a rappresentare forse la manifestazione più complessa dei fenomeni naturali, va considerata, come vedremo in appresso, quale uno degli agenti geologici, una delle molle più potenti nelle trasformazioni superficiali del nostro pianeta.

QUARTA LEZIONE

La storia geologica della terra

Quand'è che comincia la vera storia geologica della terra. — Teoricamente parlando, la storia geologica della terra comincia dal momento in cui si formò la prima crosta solida, ossia in cui si formarono le prime masse rocciose superficiali. I tempi che precedono questo momento sono invece oggetto d'indagine della così detta cosmogonia, o studio della formazione dei mondi. Effettivamente poi, le indagini geologiche sono ben lungi dal poter risalire, con qualche probabilità di successo, sino a quel remotissimo tempo, e debbono accontentarsi di limiti assai più modesti, sebbene ancora enormemente vasti. La ragione precipua di questo stato di cose va ricercata nella scarsità delle tracce che i fenomeni più antichi della storia della terra hanno lasciato e nella difficoltà del distinguere queste tracce da quelle ad esse sovrapposte dai fenomeni più recenti ; ma una seconda e non meno valida ragione sta nella immensa differenza tra le condizioni superficiali della terra nei tempi attuali e le condizioni che in allora vi regnavano e che abbiamo fugacemente adombrate nella precedente lezione.

Alcune almeno delle cause attuali di trasformazione della superficie terrestre, di quelle cause cioè che ci offrono la più sicura base per le induzioni geologiche, perchè possiamo direttamente studiarle, in quei lontanissimi tempi non potevano certo agire o, se agivano, dovevano manifestarsi in proporzioni troppo diverse da quelle che noi ora vediamo, perchè sia possibile apprezzare in giusta misura gli effetti da esse prodotti.

Infatti, come meglio vedremo in seguito, tutti i feno-

meni che traggono origine dal calore e dalla luce solari dovevano svolgersi in modo assai imperfetto sulla superficie della terra, perchè, in grandissima parte almeno, queste due forme d'energia, vere fonti d'ogni vita terrestre, dovevano essere assorbite dalla densissima atmosfera che ravvolse da principio il nostro pianeta, nella stessa guisa in cui ne sono attualmente ravvolti Giove ed i grandi pianeti del sistema solare, che, in causa appunto della loro grandezza, sono in certo modo giovani in confronto della terra.

Agenti geologici simili agli attuali cominciano a manifestarsi solo quando l'atmosfera terrestre diviene trasparente. — Solo adunque quando la temperatura superficiale del globo scese sino ad essere non troppo superiore alla attuale e l'atmosfera, spogliata della massima parte della sua umidità e di tutte le sostanze pesanti che conteneva, divenne tanto limpida e trasparente da permettere ai raggi solari di colpire energicamente il suolo, cominciarono gli agenti geologici a produrre quegli effetti modificatori della faccia della terra, che, in misura forse non molto diversa, vediamo manifestarsi anche sotto i nostri occhi.

A quei tempi, che non possiamo certo cronologicamente fissare, nè rinchiudere entro limiti ben distinti, risale, per ora almeno, l'indagine geologica, quale può essere basata saldamente sullo studio delle cause attuali di trasformazione della superficie terrestre, che, giova notarlo, scaturiscono del resto direttamente dai fenomeni svoltisi nei primi principî della vita del nostro pianeta.

Quali sono i principali fattori della storia geologica della terra. — Ed ora, prima di passare alla necessariamente rapida esposizione delle vicende più salienti della storia geologica della terra, vediamo e studiamo in breve quali siano i fattori di essa.

La massima parte delle trasformazioni che si verificano e che si verificarono nei tempi geologici sulla terra traggono origine innanzitutto da due ordini di cause: il ca-

lore centrale e la sua graduale dispersione nello spazio; il calore e la luce che il sole invia sulla terra. Gli effetti prodotti da questi due ordini di cause sono necessariamente legati, è quasi superfluo il dirlo, alla struttura del globo terrestre ed alla composizione delle sue zone sferiche.

Come cause probabilmente secondarie dobbiamo ancora citare l'attrazione esercitata dalla terra sui corpi materiali che si trovano su di essa, o forza di gravità, e l'attrazione esercitata sulla terra dal sole e dalla luna. Nè dobbiamo tacere che in questi ultimi tempi l'attenzione degli scienziati si è rivolta anche ai fenomeni magneto-elettrici, che si svolgono specialmente nelle alte regioni dell'atmosfera, ed a quelli di radioattività, che invece avrebbero per sede l'interno della terra; ma su questi argomenti nulla ancora si può dire di concreto.

La configurazione superficiale della terra deve pure, secondo alcuni, essere legata alla stessa causa che ha prodotto la forma ellissoidale del globo, ossia il suo moto di rotazione. Qualunque spostamento di masse che avvenga alla superficie dovrebbe ragionevolmente suscitare una reazione, tendente a ristabilire l'equilibrio e la regolarità della forma ora detta. Vedremo in seguito come questo principio si invochi per risolvere il grave quesito della formazione delle catene montuose.

Cause modificatrici interne e cause modificatrici esterne. — Comunque sia, nello studio delle cause modificatrici della crosta terrestre, si usa fare una netta distinzione in due capitoli: il primo si occupa delle cause interne di trasformazione della terra ed ha per cardine fondamentale il calore centrale; il secondo si occupa delle cause esterne, che risiedono essenzialmente nel calore e nella luce solari. In questi due capitoli si fa entrare anche lo studio delle altre forze perturbatrici dell'equilibrio superficiale della terra, alle quali abbiamo or ora accennato. In appresso avremo occasione di far notare come questa distinzione abbia veramente una grande importanza, in quanto che le cause interne e le cause esterne, se qualche volta cospirano a compiere uno stesso effetto, in genere

hanno un valore antagonistico, e si potrebbe quasi dire che la storia della terra non è che la storia della loro lotta istancabile. Quando anche solo una di queste due sorgenti d'energia sarà estinta, la terra stessa sarà un astro morto.

Il calore interno della terra. — Abbiamo già accennato in una precedente lezione alla questione del calore interno della terra. In allora si è detto che, di mano in mano che ci si approfonda attraverso agli strati della crosta terrestre, la temperatura cresce con molta regolarità ed in misura abbastanza notevole. Numerose osservazioni fatte in occasione della trapanazione di pozzi profondi, del traforo di tunnels alpini, entro gallerie di miniera, ecc. hanno portato ad una media di circa 3 gradi centigradi nel così detto *gradiente termico*, od aumento di temperatura per ogni cento metri di profondità.

La superficie terrestre è un'esile crosta solida che poggia sopra una gran massa fusa interna. — Tale aumento fu dovunque riscontrato e pare che, nelle maggiori profondità, tenda anzi ad assumere un valore un po' maggiore. Le osservazioni dirette si estendono sino a poco più di 2000 metri dalla superficie, profondità invero molto modesta in confronto al valore del raggio terrestre medio, che è di 6371000 metri, ma ci sono ottime ragioni per credere che l'aumento di temperatura continui, almeno per un buon tratto, verso il centro della terra.

Già dicemmo pure che, stando così le cose, a 60 chilometri dalla superficie la temperatura della terra non dovrebbe essere distante dai 2000 gradi, temperatura più che sufficiente per tenere allo stato fuso tutte le sostanze minerali che noi conosciamo, anche tenendo conto della enorme pressione che a quella profondità deve esistere. Se le nostre induzioni rispondono al vero, la crosta solida della terra dovrebbe adunque avere uno spessore massimo di una sessantina di chilometri, ciò che per verità risponde bene anche a quanto ci farebbero credere altri ordini di fenomeni; e noi dovremmo immaginare la terra attual-

mente formata da una sfera di materiali fusi ricoperta da un' esile crosticina solida, spessa solo un centesimo del suo raggio.

La massa interna, pur essendo fusa, è rigida e compatta più dell'acciaio. — Ciò che difficilmente possiamo immaginare, se prima bene non riflettiamo, sono i caratteri che deve presentare la massa fusa interna della terra. Infatti noi siamo abituati a collegare al concetto di corpo fuso quello di una notevole scorrevolezza e fluidità: ora, invece, la massa interna della terra, sotto l' enorme pressione esercitata dagli strati superficiali, misurata a decine di migliaia di atmosfere, deve praticamente presentarsi come un corpo dotato di notevolissima rigidità e compattezza, come un corpo solido nel senso comune della parola : ciò che invero corrisponde a tutto quanto noi sappiamo del nostro pianeta, che nel suo insieme è più rigido dell'acciaio, ed a quanto si deduce specialmente dal modo di propagarsi dei terremoti e dall'assenza di maree nella massa interna del globo.

Raffreddamento progressivo, che dura tuttora, della massa interna. — L'aumento regolare della temperatura con la profondità prova, a chi ben lo consideri, che la terra si raffredda per continuo disperdimento di calore nello spazio e che il riscaldamento, pur notevolissimo, dovuto all' irraggiamento solare, non basta a bilanciare la perdita ch'essa subisce.

Da questo raffreddamento progressivo del nucleo terrestre, dalla sua composizione e dal suo stato, sui quali abbiamo ormai sufficientemente insistito, deriva una delle cause più importanti, forse anzi la più importante causa di modificazione superficiale del nostro pianeta.

Conseguenza importantissima che deriva da questo raffreddamento progressivo del nucleo interno. — Infatti, se noi pensiamo che, nella infinita maggioranza dei casi, i corpi raffreddandosi diminuiscono di volume e che tale diminuzione avviene in misura senza confronto

maggiore nei corpi metallici che nei corpi pietrosi, dobbiamo subito persuaderci di un necessario e fondamentale squilibrio nella contrazione subìta dalla terra durante il suo raffreddamento. Il nucleo terrestre, essenzialmente metallico, caldissimo e probabilmente fuso, diminuendo gradualmente di temperatura, deve contrarsi in misura molto maggiore di quanto non faccia la crosta rigida superficiale.

Formazione delle catene di montagne. — E' facile immaginare la conseguenza che ne deriva: fra il nucleo che si ritira e la crosta che conserva pressochè intatto il suo volume tende ben presto a formarsi un cavo, quasi come in una nocciola il seme polposo, disseccando, si stacca dal guscio legnoso che lo riveste. E, poi che il peso della crosta terrestre, la sua compagine e la sua relativa esilità non permettono che rimanga senza sostegno, essa deve rompersi e sprofondare ed arricciarsi, per adattare la sua estensione alla diminuita superficie del corpo centrale che la sorregge. Paragonavasi un tempo la crosta terrestre all'abito troppo ampio di una persona che dimagra o alla buccia arricciata di una mela che si dissecca: le pieghe dell'abito o le increspature dalla buccia sarebbero rappresentate sulla terra dalle catene montuose, che formano veramente alla superficie del globo una serie di rughe, sottili in confronto del volume del nostro astro, nonostante l'elevazione loro di parecchie migliaia di metri.
Attualmente si ritiene che la formazione delle catene montuose, dove noi vediamo veramente gli strati rocciosi costituenti la compagine della costa terrestre ripiegati e contorti a guisa di rughe, sia un fenomeno molto più complesso e che ad esso cospirino parecchî ordini di cause, ma è certo però che i movimenti derivanti dalla causa ora esaminata vi hanno una notevole parte.

Formazione delle fosse oceaniche e dei massicci continentali. — Dai più poi si crede che alla contrazione del nucleo terrestre sia essenzialmente dovuta la distribuzione delle aree di depressione, rappresentate dalle fosse oceaniche, e delle aree di rilievo, rappresentate dai

massicci continentali, fra le quali v'è un dislivello massimo di 18 chilometri circa; ossia, in altre parole, la configurazione generale della faccia della terra, che, come ognun sa, appare notevolmente irregolare e ben diversa da quella che dovrebbe avere il nostro astro se la sua forma fosse dovuta solo al moto rotatorio dal quale era animato al momento di sua origine.

E su questo argomento, poi che ci siamo, rimaniamo alquanto.

Caratteristiche importanti di forma che tutte le masse continentali hanno in comune. — Se gettiamo uno sguardo sopra un globo terrestre, nella distribuzione degli oceani e dei continenti, apparentemente così disordinata, non tardiamo a cogliere qualche particolarità da cui invece traspare una certa regola ed una certa simmetria, che ci richiama, lontanissimamente s'intende, quella di una figura geometrica. Infatti, nelle masse continentali a noi ben note, rileviamo innanzitutto un comune modo di terminare assottigliato verso sud ed un dilatarsi verso nord, tanto che l'emisfero meridionale comprende una superficie marina ben maggione di quello settentrionale. I continenti sono in genere allungati da nord a sud, e tra di essi si insinuano, con distribuzione relativamente abbastanza regolare, gli oceani Pacifico, Atlantico e Indiano. Alla regione polare artica risponde una grande depressione marina, mentre il polo antartico risponde, come hanno provato le recenti esplorazioni, un elevato rilievo continentale.

In altre parole, se noi trascuriamo le irregolarità di secondaria importanza, la superficie terrestre, presa in blocco, presenta quattro grandi aree di rilievo e quattro grandi depressioni occupate dalle acque, disposte in modo che ad ogni rilievo risponde sul lato opposto una depressione. Se vogliamo esprimerci con linguaggio geometrico, dobbiamo dire che la terra ha una figura simmetricamente non centrata, poichè in essa l'estremità di un raggio incontra di solito un elemento diverso di quello incontrato dal raggio opposto.

Formà tetraedrica che, secondo alcuni, tenderebbe ad assumere la terra. — Fondandosi essenzialmente sopra queste considerazioni, i geologi, sulle tracce di Richard Owen e di Lowthian Green, hanno pensato che la terra tenda ad assumere, in grazia del progressivo contrarsi del suo nucleo, una forma abbastanza spiccatamente tetraedrica, ossia la forma di un solido a quatto faccie triangolari ed a quattro vertici a quelle opposti. I vertici risponderebbero alle infossature oceaniche, gli spigoli, di cui tre particolarmente evidenti, agli assi d'allungamento dei continenti.

La ragione prima di questo fenomeno sarebbe essenzialmente geometrica. Ognuno sa che la sfera è il solido che ha, relativamente al volume suo, la minima superficie; il rapporto tra superficie e volume è maggiore nei poliedri, e nei poliedri regolari seguita a crescere di mano in mano che diminuisce il numero delle faccie; il tetraedro regolare, o solido limitato da quattro facce triangolari equilatere eguali, è la figura geometrica di questa serie che di conseguenza presenta, in proporzione al volume, la massima superficie. Per non altra ragione noi siamo, nella vita pratica, abituati ad attribuire ai recipienti sferici una capacità inferiore a quella che effettivamente non abbiano, ed una maggiore ne stimiamo ai recipienti piramidali o poliedrici: cosa questa non ignota ai mercanti di liquidi costosi, che fanno ben figurare la loro merce vendendola in fiale delle forme più strane e distanti dalla sfera.

Ora, tenendo presente questa elementare osservazione, appare ben fondata l'ipotesi che la diminuzione di volume della terra, non accompagnata da una proporzionata diminuzione di superficie della sua crosta, tenda a trasformare la sferoide terrestre in un solido poliedrico, e, precisamente, in quel solido che ha le proprietà opposte a quelle della sfera, nel tetraedro.

Noto ancora che il tetraedro è una di quelle figure che dal punto di vista della simmetria, si dicono non centrate, ed anche sotto questo riguardo è ben d'accordo

con la mancanza di simmetria da noi rilevata a proposito della distribuzione dei continenti e degli oceani sulla terra.

E' bene pure notare che si parla di una *tendenza* della terra ad assumere la forma tetraedrica; effettivamente la forma solida a cui si dovrebbe attualmente paragonare il nostro globo è quella di un esacistetraedro a facce molto incurvate, ed a vertici e spigoli appena marcati, perchè, come già dicemmo, tra i rilievi e le depressioni non c'è un dislivello superiore ad una ventina di chilometri; ciò ch'è ben piccola cosa in confronto del raggio terrestre e che non toglie percettibilmente la forma sferica al nostro globo.

La possibilità di una simile trasformazione nella figura della terra fu anche controllata con l'esperienza. Togliendo a poco a poco l'aria da un pallone di caucciù gonfio, o da un pallone di vetro semifuso, si vide infatti in essi una netta tendenza ad assumere una forma grossolanamente tetraedrica.

Non tutti però accettano questa « teoria tetraedrica » della terra. — Non tutti accettano questa così detta *teoria tetraedrica* della terra, ed anche i suoi sostenitori e perfezionatori, fra i quali va annoverato il celebre e compianto petrografo francese A. Michel-Lévy, riconoscono essere un problema assai difficile lo stabilire con precisione la disposizione degli elementi tetraedrici della terra, tanto più che questi avrebbero cambiato nei vari tempi, o, quanto meno, avrebbero subìto delle torsioni per cause secondarie. Ma è certo però, che nello stato attuale delle nostre cognizioni, questa teoria è quella che rappresenta in modo migliore ed in miglior accordo coi fatti l'innegabile, quantunque oscura, regolarità nella distribuzione sulla terra delle più estese e risentite disuguaglianze di livello, che turbano la forma di perfetto ellissoide di rivoluzione da essa probabilmente presentata nei primi suoi principî.

Conclusione circa le cause che hanno determinato l'attuale conformazione generale della terra. — Riassumendo, adunque dobbiamo ritenere che lo stabilirsi

delle varie zone di composizione e di temperatura diverse nella sfera terrestre, fenomeno che non si è disegnato completamente se non quando la superficie fu abbastanza fredda, sia la condizione di fatto che regolò lo svolgersi delle ulteriori trasformazioni nell'aspetto del nostro globo.

L'esistenza di un nucleo centrale caldo ed essenzialmente metallico, ed il suo progressivo raffreddarsi, sono le cause prime del manifestarsi di deformazioni nella crosta solida della terra, che, rigida e poco cedevole, dovendosi adattare alle diminuite dimensioni del nucleo, in alcuni tratti si infossò, in altri rimase in posto, modificando la regolarissima forma di sfera alquanto schiacciata ai poli, od ellissoide di rivoluzione, ch'essa aveva acquistato nello stadio stellare.

Considerazioni d'indole matematica ed osservazioni di fatto porterebbero poi a credere che la figura alla quale tende ad assomigliare la terra sia il tetraedro.

QUINTA LEZIONE

I movimenti della crosta terrestre

La crosta terrestre soggiace, anche attualmente, a continui movimenti. — Da quanto abbiamo cercato di stabilire per via teorica nella lezione precedente, risulterebbe che la crosta solida della terra, almeno in gran parte della sua estensione, è in movimento continuo, perchè continua è la dispersione di calore nello spazio e continua quindi la contrazione del nucleo terrestre.

Ora se noi, come naturale controllo delle induzioni teoriche, consideriamo i fatti che si svolgono sotto i nostri occhi, dobbiamo effettivamente constatare che la crosta terrestre presenta una serie di movimenti, dovuti non solo alla causa generale sopra accennata, la quale oggi non può produrre che effetti impercettibili, essendo diventato lentissimo il raffreddamento del nucleo sotto la spessa coltre delle rocce superficiali, ma anche ad una serie non piccola di altre cause di portata più o meno grande e con quella più o meno direttamente collegate. Di guisa che nessuna espressione appare meno appropriata di quella di *terraferma* attribuita al suolo sul quale viviamo.

Quali sono i moti della crosta terrestre? quali la loro natura, la loro importanza, i loro effetti? Brevemente vi accenneremo nel corso di questa lezione.

I terremoti. — I soli movimenti di cui la comune degli uomini abbia conoscenza, sono quelli che vengon chiamati, quasi per antonomasia, *terremoti*. Si tratta di movimenti bruschi e spesso violenti che colpiscono tratti più o meno estesi della superficie terrestre e che si ripetono ad intervalli più o meno lunghi, specialmente in

alcune regioni che sembrano a ciò in modo particolare destinate.

I terremoti, non di rado preceduti da uno speciale strepito sotterraneo, detto *rombo*, e da altri fenomeni precursori, si manifestano con una serie di oscillazioni verticali od ondulatorie del suolo, che raggiungono talvolta tale violenza da lanciare in alto corpi pesantissimi e da demolire solidi edifici, come fossero castelli di carte. La serie delle oscillazioni, o scosse di terremoto, spesso con intensità variabile, da un minimo ad un massimo e poi ancora ad un minimo, può durare molti secondi, e ripetersi, sebbene con decrescente forza, a breve intervallo e per diverse volte.

Che cosa s' intende per «epicentro» d' un terremoto. — Un punto od un tratto del suolo viene colpito per primo con grandissima intensità e con scosse prevalentemente verticali, o sussultorie: da questo punto, che vien detto *centro* od *area epicentrale* di un terremoto, le scosse sembrano propagarsi tutto all'ingiro, con grande rapidità ed in forma di preferenza ondulatoria, con intensità gradualmente decrescente, sino a coprire una zona più o meno estesa della superficie terrestre. Nei grandi terremoti, le scosse, in modo non percettibile che con delicati istrumenti detti *sismografi*, si fanno anzi sentire su tutta la superficie della terra, e quindi anche gli antipodi del punto colpito pel primo; di guisa che in questi casi si può dire che veramente tutta la terra viene scossa da bruschi tremiti.

Immensi spacchi nel terreno spesso prodotti dai grandi terremoti. — I grandi terremoti, tristemente celebri per il numero delle vittime che fanno, e di cui noi abbiamo pur troppo recenti esempî, non danneggiano solo le abitazioni e gli edifici costrutti, spesso male, dagli uomini. Si hanno casi frequenti, specie nei terremoti del Giappone e della Nuova Zelanda, in cui si formano, in seguito alle scosse, delle profonde crepe nel terreno, estese sino a parecchie decine di chilometri e con forte sposta-

mento dei labbri, ed in cui i dati geografici di una regione sono stabilmente alterati. (Fig. 8)

Che cosa s' intende per «ipocentro» d' un terremoto. — Come è facile intendere, le scosse non si originano alla superficie. Il punto di partenza delle scosse, od *ipocentro* del terremoto, qualunque sia la causa di queste, è a profondità più o meno grande, spesso notevole.

Fig. 8 — *Spaccatura formatasi a Midori nel Giappone, durante il terremoto del 28 ottobre 1891, con spostamento dei labbri visibile specialmente per il distacco dei due tronchi della strada.*

Terremoti locali di sprofondamento. — Quali sono le cause dei terremoti? Sonvi terremoti provocati dal crollar della volta di cavità sotterranee. Questi terremoti hanno di solito un' area molto limitata e son raramente disastrosi; si manifestano in regioni in cui le acque di circolazione sotterranea trovano masse minerali facilmente solubili e formano di conseguenza meati e caverne del sottosuolo.

Terremoti di origine vulcanica. — Altri terremoti precedono ed accompagnano le eruzioni vulcaniche, e son

legati ai movimenti delle masse laviche ed all'espansione violenta dei vapori sotterranei. Anche questi terremoti limitano di solito la loro azione ad una stretta zona della superficie, compresa nel perimetro della regione vulcanica nella quale si manifestano.

Terremoti «tectonici». — Ma i terremoti più grandiosi, quei terremoti che non di rado fanno sentire il proprio sinistro tremito su quasi tutta la superficie del globo, appartengono ad una terza categoria, e son dovuti a cause di una portata ben più generale. Sono quei terremoti che, essendo collegati con l'intima architettura della crosta terrestre, furono appunto chiamati *terremoti tectonici*, e la cui natura ed origine non venne messa in chiaro che dopo un diligente studio strutturale delle regioni da essi frequentemente battute.

I grandi terremoti, quali ad esempio quelli delle Calabrie e della Sicilia, del Giappone, della California, del Cile, si manifestano infatti in regioni che ne sono frequentemente colpite e che hanno in questo conseguita una ben triste celebrità. Il fatto stesso del loro periodico ripetersi con caratteri di grande analogia in certe date regioni del globo fa supporre che questi terremoti siano legati a peculiari modi di struttura della crosta terrestre.

La teoria del grande geologo austriaco Suess sulla relazione fra i terremoti tectonici e la formazione delle montagne. — E' merito precipuo di Edoardo Suess quello di aver dimostrato, studiando diligentemente i terremoti della Bassa Austria e della regione Calabro-Sicula, la relazione che intercede fra questi terremoti e certe particolari zone di spostamento e di ripiegamento della crosta del globo, a lor volta legate al grande fenomeno della formazione delle montagne.

Gli epicentri dei varî terremoti che si manifestano in queste regioni si trovano allineati lungo certe direzioni, le quali corrispondono in modo indiscutibile con grandi fratture o brusche ripiegature della crosta terrestre di formazione geologicamente recente. I loro ipocentro è

quasi costantemente sotto un'area marina, e ciò perchè i più bruschi dislivelli della superficie del globo sono naturalmente lungo le coste più ripide e più erte, ed in rispondenza del fianco più dirupato delle catene montuose di origine meno remota.

Siffatta coincidenza, dimostrata oramai per tutte le regioni sismiche più importanti e più note, ci permette adunque di affermare che i grandi terremoti non furono e non sono altro se non un brusco squilibrio nelle enormi tensioni e pressioni sopportate dalla corteccia solida del globo nei movimenti generatori delle montagne. Questo fenomeno orogenetico non si è pertanto manifestato solo nelle epoche geologiche passate, ma si continua anche nell'epoca presente, per così dire sotto i nostri occhi. I terremoti più violenti non sarebbero che i fatti più sensibili del grande e incessante fenomeno di formazione dei rilievi montuosi.

La dimostrazione indiretta che i grandi terremoti hanno dato della natura metallica del nucleo terrestre. — Ma i più recenti studî sui terremoti non ci hanno condotto solamente a questo importantissimo risultato. Essi ci hanno ancora portato una brillante quanto inattesa conferma delle induzioni antecedentemente fatte sulla natura del nucleo terrestre.

Abbiamo già detto che i terremoti vengono ora segnalati e studiati pressochè su tutta la superficie della terra mediante speciali sensibilissimi apparecchi detti *sismografi*, ed abbiamo soggiunto che i grandi terremoti vengono percepiti con questo mezzo anche se si manifestano a distanze enormi ed agli stessi antipodi del punto in cui si trova l' osservatorio sismico. E' con l' analisi minuta di queste segnalazioni che la sismologia ha fatto i suoi più mirabili recenti progressi ed ha tratto le conclusioni alle quali or ora accennavamo.

I terremoti che avvengono a grande distanza dal luogo dove il sismografo si trova sono da esso segnalati con tre distinti periodi di vibrazioni. In altre parole, una stessa scossa viene percepita tre volte, e con tre scosse

abbastanza spaziate l'una dall'altra quando la lontananza della regione colpita sia sufficiente. A cagion d'esempio, se il terremoto avviene pressochè agli antipodi, il sismografo segnala una prima fase di vibrazione 20-22 minuti dopo la scossa; 13 minuti dopo è segnalata una seconda fase, ch'è la più intensa; e solo un'ora e mezza dopo termina la terza fase, ch'è formata da grandi onde di lunga durata. Ciascuna scossa genera dunque nella massa della terra tre gruppi di vibrazioni che son dotate di velocità diversa, percorrendo le prime circa 9 chilometri e 600 metri per secondo, le seconde 5 chilometri, e le ultime da 3 chilometri a 3 chilometri e mezzo. Come si spiega questo fatto? L'interpretazione che se ne dà è che i primi due gruppi di scosse si propaghino attraverso il nucleo terrestre, rispettivamente come onde longitudinali e come onde trasversali, mentre il terzo gruppo si propaga lungo la superficie, attraverso agli strati rocciosi della crosta terrestre. La maggiore rapidità delle prime due fasi di vibrazione dimostra nel nucleo terrestre una rigidità superiore a quella dell'acciaio, e molto superiore quindi a quella della crosta solida del globo, essendo noto infatti che la velocità di propagazione di ogni vibrazione di particelle materiali è tanto maggiore quanto maggiore è la rigidità del corpo traverso cui avviene la vibrazione stessa. Ora, tutto questo è ben d'accordo con quanto abbiamo detto più indietro sulla natura del nucleo terrestre, in cui sarebbe dimostrata anche per questa via l'esistenza di masse metalliche dotate di considerevolissima rigidità.

E' poi da notarsi, a maggiore conferma di questo asserto, che nelle segnalazioni dei terremoti, mentre la velocità delle vibrazioni della terza fase si mantiene costante qualunque sia la distanza d'origine della scossa, quella delle vibrazioni delle prime due aumenta con l'aumentare di questa distanza e diventa massima agli antipodi, quando cioè le scosse debbono attraversare zone sempre più centrali, e quindi più compatte, del nucleo.

I movimenti lenti della crosta terrestre. — I terremoti non sono i soli movimenti ai quali sia soggetta la crosta solida del globo. In oggi si sa che, oltre queste brusche scosse che vengono talvolta a variare sensibilmente il livello di estesi tratti della superficie terrestre, vi sono altri movimenti, di non minore importanza, cospiranti agli stessi effetti, e meno noti solo perchè più difficile è la constatazione della loro esistenza.

Le osservazioni diligenti e delicate che, dal principio del secolo scorso ad oggi, si son fatte sopra molti punti della superficie della terra, e specialmente lungo le coste marine, allo scopo di stabilirne gli eventuali mutamenti di livello, hanno dimostrato sia per misure dirette che per induzioni variamente fondate, che pressochè dovunque avvengono spostamenti più o meno rapidi nelle linee di spiaggia. In alcune regioni, come ad esempio nelle coste veneto-istriane dell' Adriatico, le onde marine tendono ad invadere le terre emerse, mentre in altre, come ad esempio lungo il litorale tirreno della Calabria, avviene un movimento in senso inverso. Le coste svedesi presso a Stocolma, il territorio scozzese, il golfo di Botnia presentano un moto relativo di sollevamento lento, mentre le coste settentrionali della Scandinavia e quelle meridionali del Baltico darebbero indizio di un movimento di sommersione, che sarebbe poi generale ed estesissimo nelle grandi aree oceaniche, come per esempio in tutta l' area del Pacifico.

Alternanza di emersioni e di immersioni di dati territori. — Altre regioni presentano sicure tracce di movimenti alterni, con alterne invasioni marine ed emersioni di estesi tratti di territorio. Celebre a questo proposito è l' esempio offertoci dalla regione costiera del Belgio, che durante l' età della pietra e sino al terzo secolo dopo Cristo era emersa, e poi fu invasa dal mare, tantochè non serba alcun ricordo dell' occupazione romana. Ma si hanno numerosissimi altri esempî di un consimile fenomeno, ed alcuni di importanza veramente notevole, quale quello offertoci dalla regione finlandese-scandinava

circondante il Baltico, due volte invasa dal mare e due volte emersa in epoca geologicamente recente. Altro esempio classico è quello presentatoci dal cosidetto Tempio di Giove Serapide a Pozzuoli, del quale rimangono attualmente in posto tre alte colonne di marmo recanti nella loro metà inferiore una fascia di fori praticati in esse da molluschi marini (Fig. 9). Pare che il tempio, costrutto sopra antiche terme, nel terzo secolo d. C. fosse ancora emerso; poi subisse una sommersione, che spiega ed è a sua volta delimitata dalle tracce di molluschi lasciate sulle colonne; e nel secolo XVI riemergesse, dopo l'eruzione del Monte Nuovo avvenuta nel 1538. Attualmente, sbarazzato dai detriti che lo ricoprivano, il tempio di Serapide ha il suolo un po' al disotto del livello del mare.

Fig. 9 — *Le tre colonne marmoree rimaste in piedi del così detto Tempio di Giove Serapide a Pozzuoli. Ben visibile è la la fascia dei fori di molluschi che dimostrano l'antica sommersione.*

Grande lentezza di questi movimenti. — La velocità dei movimenti ai quali ora accenniamo è assai piccola, e perchè gli spostamenti di livello ai quali dànno luogo diventino sensibili occorre conceder loro un tempo assai lungo. Per dar un'idea di tale velocità diremo che, attualmente, il suolo intorno a Stocolma sembra emergere

di 47 cm. per secolo : meno di mezzo centimetro all'anno !

Ma qui è bene ricordare ancora una volta che i tempi geologici hanno un'estensione assai grande, che supera i tempi storici, misurati dalla vita degli uomini, quasi quanto le distanze astronomiche superano le distanze terrestri. Diamo tempo a questi movimenti, e vedremo che essi possono produrre effetti grandiosi e grandiose modificazioni nella configurazione superficiale della terra.

Quali sono le cause di questi lenti movimenti della crosta terrestre? — Non è facile rispondere a tale domanda.

Innanzitutto diremo che, mentre alcuni geologi ammettono veramente la possibilità di uno spostamento del suolo, altri voglion spiegare il fenomeno con uno spostamento di livello del mare, che produrrebbe naturalmente lo stesso effetto relativo. Ora, se in alcuni casi una variazione stabile nel livello del mare non è solo probabile ma certa, altrettanto sicuro è che nella grande maggioranza dei casi gli spostamenti di livello avvengono nella crosta solida del globo ; e ciò sia perchè il valore dello spostamento è spesso troppo grande per render probabile un movimento di masse acquee sufficiente a spiegarlo, sia perchè in taluni casi esso varia molto in punti vicinissimi ed è quindi assolutamente inesplicabile con una variazione di livello del mare, la quale non potrebbe che estendersi ad una grande superficie. Ma anche accettando l'idea, generalmente ammessa, che nella grande maggioranza dei casi si abbia un movimento di sollevamento o di abbassamento del suolo, dobbiamo ancora riconoscere che questi spostamenti posson esser dovuti a cause molto varie. Così è certo che qualche volta si tratta di un movimento di assettamento di un suolo detritico, come nel caso dello sprofondamento di aree alluvionali, qualche altra volta la causa del movimento è vulcanica, come nel caso del citato Tempio di Serapide, qualche altra volta ancora si tratta di masse minerali alterantisi e varianti di volume, e così via dicendo. Ma è certo che vi sono dei movimenti lenti del suolo, manifestantisi sopra

aree estesissime, i quali son dovuti a cause molto più generali, e la cui spiegazione appare legata ai grandi fenomeni di modellamento del globo terrestre da noi adombrati in una delle precedenti lezioni ed ai fenomeni di formazione dei rilievi montuosi.

Le grandi modificazioni avvenute, nei tempi geologici, nella distribuzione delle terre emerse e dei mari. — Tali fenomeni hanno in certi periodi della storia della terra assunto proporzioni molto grandiose, e ad essi sono dovute essenzialmente le modificazioni più volte manifestatesi nella distribuzione delle terre emerse e dei mari sulla superficie del globo, modificazioni che solo in questi ultimi tempi, con l'estendersi delle esplorazioni geologiche su più vasta parte della terra, si cominciò a conoscere con qualche maggiore approssimazione. Così non si ignora adesso che nei più antichi tempi della storia della terra le masse continentali erano prevalentemente distribuite nella direzione dei paralleli e che già esistette un grande continente esteso dal Brasile all'Africa ed all'Australia, mentre attualmente le terre si stendono di preferenza da nord a sud, separate da oceani che vanno quasi da un polo all'altro, come l'Atlantico, la cui completa formazione è un fatto geologicamente recente.

Non è antichissima neppure la formazione dell'oceano Indiano, occupato in tempi geologicamente non lontani da una terra che riuniva l'Indostan a Madagascar, e, per citare esempi più minuti, ma riguardanti più strettamente le nostre regioni, affatto recente è anche la scomparsa del mare dalla pianura padana, occupata altra volta da un ampio golfo, e la formazione della penisola italica, altra volta rappresentata da una serie di isole appenniniche.

Scopo ultimo delle indagini geologiche si potrebbe anzi dire, sotto un certo riguardo, essere quello di tracciare per ciascuna êra, per ciascun periodo della storia della terra il relativo quadro geografico quanto più completo è possibile. La geologia dovrebbe chiamarsi la geografia del passato, come la geografia si può chiamare la geologia

del presente, prescindendo naturalmente dal diverso metodo e dal diverso indirizzo che hanno queste due scienze.

Sollevamenti o sprofondamenti in blocco di aree continentali. — I movimenti della crosta terrestre ai quali abbiamo accennato nelle precedenti pagine, e specialmente questi ultimi, si possono invocare per spiegare il formarsi di sollevamenti o di sprofondamenti che affettino in blocco aree estese della superficie del globo. L'Africa, specialmente nella sua metà meridionale, appare per esempio come un grande tavoliere sollevato sopra gli oceani che bagnano le sue falde. Sia che nell'area africana si sia verificato un antico sollevamento effettivo, sia che si siano sprofondate le aree circostanti, lasciando in posto la prima, ciò che produce lo stesso effetto relativo, certo è che gli strati della crosta terrestre vi si presentano quasi perfettamente orizzontali e indisturbati.

Grandiosi movimenti di ripiegamento della crosta terrestre attestati dalle catene montuose. — Se invece noi percorriamo la nostra catena alpina, se risaliamo una quale si voglia delle profonde vallate che dal margine della pianura si dirigono verso il cuore della montagna, ci appare evidente che qui ci si trova davanti ad un tipo ben diverso di struttura della crosta terrestre. Qui le masse rocciose sollevate presentano tutte le tracce di uno sconvolgimento grandioso e vi predominano incurvature, increspature, accartocciamenti di strati, spesso complicati ed arditissimi, che dimostrano all'evidenza avere la crosta terrestre in questa zona subito un energico movimento di ripiegamento, oltre che di sollevamento (Fig. 10-11).

Teorie diverse sulla origine delle montagne. — Come si sono originate queste catene montuose, tanto diverse per la loro struttura arricciata e pel loro andamento lineare dai sollevamenti prima accennati?

La teoria vulcanica. — Nel periodo che potrebbe chiamarsi il periodo eroico della geologia si attribuiva la formazione di queste montagne all'azione dei vulcani.
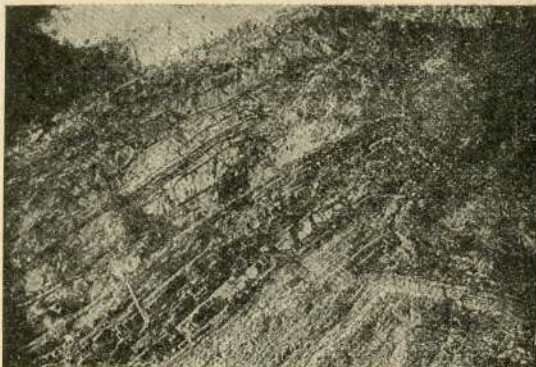
Fig. 10 — *Piega di strati carboniferi di Namur, con la convessità rivolta in alto (anticlinale).*
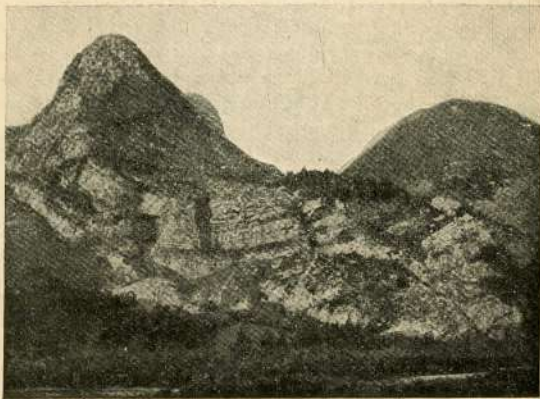
Fig. 11 — *Grande piega di strati calcarei, con la convessità rivolta in basso (sinclinale), nelle Alpi Savoiarde.*

La teoria del raggrinzimento della crosta terrestre. — In seguito si diede del fenomeno orogenico una spiegazione altrettanto semplicista, sebbene assai più vicina alla verità, attribuendo direttamente la formazione di queste rughe della faccia della terra, che son le catene montuose a pieghe, al raffreddamento ed alla contrazione del nucleo terrestre. La crosta terrestre è inegualmente spessa e massiccia nelle varie sue plaghe; se due massicci adiacenti si sprofondano insieme, movendosi entrambi lungo due raggi terrestri che convergono verso il centro, debbono necessariamente diminuire la loro distanza orizzontale e stringere come in una morsa la striscia di terra che li separa; in questa di conseguenza si manifestano delle pressioni tangenziali talmente intense da ripiegarla e accartocciarla in mille guise.

Attualmente si ritiene che, se alla formazione di queste strisce di accartocciamento, che son le catene montuose di tipo alpino, non è estranea la contrazione del nucleo terrestre, questa causa pur grandiosa ed immanente non sia sufficiente a spiegare il fenomeno orogenetico, il quale, come tutti i fenomeni naturali, se ben si considera, appare enormemente complesso.

Se si paragona infatti l'intensità del corrugamento subito dalla crosta terrestre lungo le catene montuose, e la diminuzione di area che essa avrebbe di conseguenza sopportato, con la misura del raffreddamento e della contrazione del nucleo terrestre necessari a spiegarli, si vede che il corrugamento è enormemente più grande di quello ammissibile, data la lentezza già da noi ricordata del raffreddamento stesso. Distendiamo quelle rughe della terra che sono le Alpi, gli Appennini, i Pirenei, i Carpazî, il Caucaso, l'Imalaia, ecc. ecc., catene tutte di origine geologicamente molto recente; otterremo così un aumento nella estensione della superficie della terra che è assolutamente inconciliabile con tutto quanto si sa intorno alla probabile variazione di volume subita in questi ultimi periodi geologici dalla terra stessa.

Dunque? Dunque la formazione delle montagne a pieghe ha probabilmente un'altra causa, o, per meglio dire,

vi è qualche altra causa concomitante che concorre allo svilupparsi del fenomeno, che, è necessario dirlo, appare ogni giorno più grandioso, poi che in questi ultimi anni si è riconosciuta l'esistenza di enormi falde ricoprentisi per decina e decina di chilometri in molte regioni della terra.

Ma se ormai si può dire tutti esser d'accordo nell'ammettere che il fenomeno orogenetico sia dovuto almeno in parte a cause diverse dal raffreddamento, non altrettanto si può dire intorno alla natura di queste cause, ed è d'uopo confessare che il quesito non è per anco risolto.

La teoria dell'equilibrio statico di masse eterogenee. — Una teoria che raccoglie in oggi il consenso di molti è quello dovuta all'americano Dutton, la quale si richiama alla forma generale che la terra ha assunto come astro in grazia al suo moto, alla sua natura ed alla forza di gravità.

Abbiamo detto sin da principio che il nostro globo ha press'a poco la forma di un ellissoide di rotazione, ossia è simile ad una sfera leggermente schiacciata ai poli. Ora, è bene avvertire che questa forma geometricamente perfetta sarebbe possibile solo nel caso che la terra, dotata di un certo grado di elasticità, fosse pure perfettamente omogenea. Se così non è, se cioè in alcune parti è più pesante e in altri meno, essa deve necessariamente infossarsi nelle zone della superficie che son più cariche e rilevarsi nelle meno cariche, ed ogni spostamento di masse che avvenga alla superficie deve suscitare un movimento atto a ristabilire l'equilibrio.

Ciò posto, è facile constatare come sulla terra avvengano continuamente di simili spostamenti; ed invero vediamo che dalle aree continentali i fiumi asportano senza posa ingenti masse di materia per accumularla sul fondo delle conche oceaniche, e specialmente lungo le zone costiere. Queste vengono di conseguenza ad essere sovraccariche, mentre sono di continuo alleggerite le aree continentali, ed è logico supporre che si formi per reazione d'equilibrio una vera spinta dalle zone costiere verso

i massicci emersi, con formazione di pieghe della crosta terrestre lungo il margine delle masse continentali.

Ed è pur giusto dire che quanto si sa intorno alla distribuzione delle zone di corrugamento antiche e recenti è in buon accordo con quanto suppone la teoria, ed anche, se si vuole, con quanto abbiam detto in principio della lezione sulla distribuzione e sulle zone d'ipocentro dei grandi terremoti tectonici.

Riassunto sui movimenti della crosta terrestre. — Concludendo adunque dobbiamo dire che, come abbiamo affermato prendendo le mosse per la presente trattazione, la crosta terrestre effettivamente è in continuo movimento, e che ciò è comprovato sia dall'osservazione diretta dei terremoti e dei lenti moti del suolo, sia dallo studio strutturale della crosta stessa, che co' suoi continenti, con le sue fosse oceaniche, con le sue catene di monti prova di aver subito e di subire tuttavia una serie non piccola di spostamenti a varie cause dovuti e variamente grandiosi.

SESTA LEZIONE

I fenomeni eruttivi

Il vulcanismo. — I fenomeni ai quali abbiamo brevissimamente accennato nella precedente lezione derivano tutti, in modo più o meno diretto, dal calore centrale della terra, ma non sono i soli fenomeni geologici che si debbono riferire a questa causa, ed un'idea assai incompleta si avrebbe della struttura e delle modificazioni della crosta terrestre, se non ricordassimo anche un altro capitolo della geodinamica: quello del vulcanismo. Infatti, se il fenomeno vulcanico, inteso nel senso più stretto della parola, ha un'importanza grande, ma non grandissima nelle vicende che la superficie terrestre ha subito e subisce, poi che esso si manifesta in aree relativamente ristrette della superficie stessa, rimane pur sempre uno dei fenomeni più grandiosi che si spieghino sulla scena del mondo, ed uno dei fenomeni che, per il velo da cui son ancor coperte le sue origini e per la teatralità delle sue esplicazioni, più profondamente ha colpito sempre la immaginazione e la mente dell'uomo. Che se poi diamo o alla parola vulcanismo un inconsueto e più esteso significato, e vi comprendiamo tutti i fenomeni che più propriamente chiamansi eruttivi, veniamo veramente a considerare una serie di fatti di fondamentale importanza nella storia della terra.

Che cosa è un Vulcano. — Che cosa è un vulcano? Un vulcano si può definire essenzialmente come una grande spaccatura della crosta terrestre che mette in comunicazione, temporanea o duratura, gli strati profondi della crosta stessa, dove la temperatura è sufficiente a mantenere in istato di

fusione le masse rocciose che la costituiscono, con la superficie del suolo.

Quando una di tali fessure della scorza terrestre si manifesta, ciò che avviene nei grandi movimenti ai quali essa è soggetta, le masse caldissime e compresse che si trovano nelle profondità del sottosuolo, impregnate di gas, hanno aperta la via verso la superficie e per quella violentemente si spingono, sbarazzandosi spesso con la loro forza ascensionale la strada non interamente sgombra ch'è loro offerta. Quando infatti si pensa che masse fluide, impregnate di gas, compresse a migliaia di atmosfere ed a migliaia di gradi di temperatura, possano trovare una crepa nella pesantissima coltre che le imprigiona, di leggeri s'intende ch'esse si comportino in modo poco diverso che l'esplosivo chiuso nella gola di un cannone. Solo che, a differenza di quanto si credeva altra volta, questo esplosivo non arriva mai a far scoppiare il cannone ; ossia, in altre parole, il vulcano si manifesta là dove si forma una fessura della crosta terrestre, e si limita, nella maggior parte dei casi, a tenerne aperta la bocca, mentre non sa rigonfiare e fendere con la sola sua forza espansiva la crosta solida che lo comprime. Mal dunque si pensa credendo che la montagna vulcanica, la quale spesso sino a grande altezza sormonta la bocca del camino eruttivo, sia il prodotto di un sollevamento del suolo operato dal vulcano: la montagna che noi volgarmente chiamiamo vulcano altro non è che il cumulo dei materiali rocciosi di vario genere dal vulcano stesso eruttati, e posson darsi casi in cui questo esista senza che esista una montagna vulcanica.

I vulcani sono legati ai movimenti generali della crosta terrestre. — Ciò che è fondamentale nella interpretazione del fenomeno vulcanico è la dipendenza sua dai movimenti generali della crosta terrestre, ai quali abbiamo sopra accennato. Basta infatti che noi gettiamo uno sguardo sulla carta del vulcanismo terrestre per essere colpiti dal costante allineamento delle bocche eruttive lungo certe direzioni, che hanno tutto l'aspetto di grandi crepe, le quali abbiano spezzettato la crosta solida del

globo. Così dicasi dell'imponente cintura di vulcani, che, partendo dai grandi vulcani antartici, l'Erebus ed il Terror, circonda pressochè interamente l'area del Pacifico, ossia la maggiore area di depressione della crosta terrestre (Fig. 12). Ma bastano anche i nostri vulcani estinti del Lazio, e, meglio ancora, i vulcani del gruppo delle Eolie, allineati nettamente su tre direzioni convergenti verso Lipari, per darci un'idea di questo fatto e per dimostrarci quanto legittima sia l'ipotesi, ormai da tutti accettata, che i vulcani si formino là dove soluzioni di continuità della crosta terrestre aprano loro la via, e dove più bruschi sono i dislivelli del suolo. In ciò dunque veramente il fenomeno vulcanico è subordinato a quello generale dei movimenti della litosfera e si collega, secondo credono alcuni autori, a quello sismico, poi che l'uno e l'altro sarebbero in ultima analisi effetto della medesima causa.

Come si forma una montagna vulcanica. — Fasi di una eruzione. — Se però quello che noi chiamiamo il camino vulcanico è veramente la parte essenziale del vulcano stesso, è altrettanto vero che nelle modificazioni della superficie terrestre ha grandissima importanza anche la montagna vulcanica ed i materiali che la costituiscono. E per bene intenderne la struttura, accenniamo brevemente ai fenomeni più tipici che ne accompagnano la formazione, ossia ai fenomeni eruttivi.

Le eruzioni vulcaniche, sia che si manifestino in una regione che non ne ha mai portato traccia, sia che si svolgano in un vulcano altre volte attivo, possono presentare quadri molto differenti di fenomeni, e sarebbe grave errore credere che tutte le eruzioni siano eguali. La sola variazione di natura dei materiali lavici è infatti sufficiente a far variare profondamente la serie dei fatti che si osservano in un periodo eruttivo, ed i vulcanologi hanno moltiplicato le categorie in cui s'inquadrano le eruzioni a cui noi assistiamo.

Fenomeni precursori. — Comunque sia però, ordinariamente un periodo eruttivo è preceduto da una serie
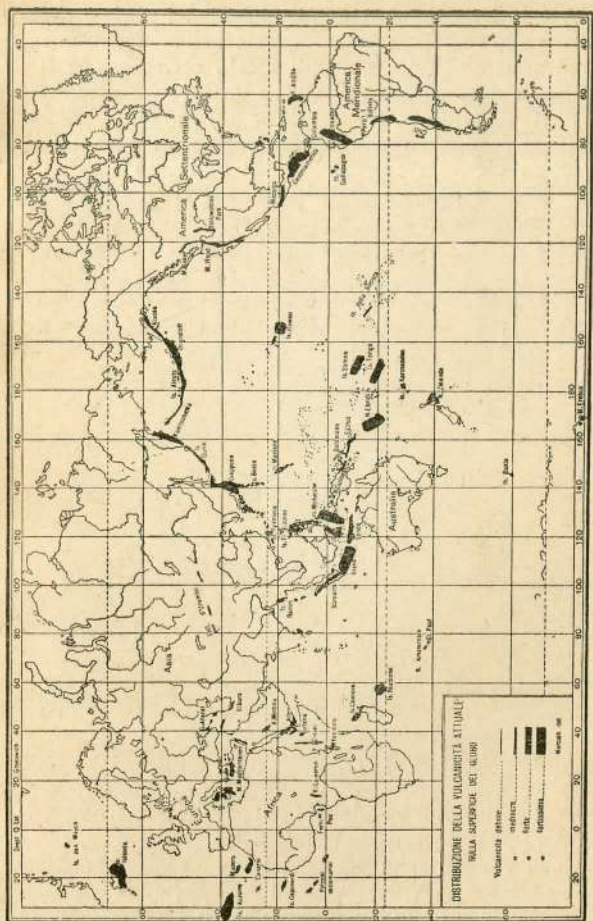
Fig. 12 — *Carta dei distretti vulcanici attuali della terra (dal Mercalli).*
(Da notarsi in particolare la cerchia vulcanica che circonda il Pacifico, e la distribuzione prevalentemente costiera ed insulare dei vulcani, che dimostra il legame di questi con le zone di ripiegamento e di frattura terrestri).

di fenomeni, che vengono appunto chiamati *fenomeni precursori*. Consistono questi in alterazioni nel regime delle sorgenti e della temperatura di queste nell'area vulcanica, in boati sotterranei, in terremoti locali, ecc. ecc. che talvolta cominciano parecchio tempo prima che s'inizî il vero periodo eruttivo. E' noto per esempio che alcuni bassorilievi pompeiani riproducono scene di un grande terremoto da cui fu colpita Pompei nell'anno 63 d. C., ben sedici anni prima cioè della famosa eruzione del 79 d. C. durante la quale il Vesuvio seppellì la sfortunata città ed Ercolano sotto un enorme cumulo di ceneri.

Fase esplosiva. — I fenomeni precursori si intensificano sino al momento in cui, con una o con una serie di gi-
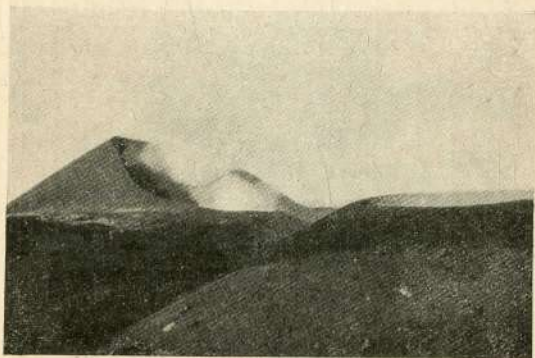
Fig. 13 — *Crateri formatisi sui fianchi dell'Etna durante l'eruzione dell'agosto 1892 (dal De Lorenzo).*

gantesche esplosioni, ha inizio la prima vera fase eruttiva. Il cominciare di una eruzione è infatti caratterizzato da una esplosione violentissima dei vapori di cui sono impregnate le masse laviche, che, dal profondo della corteccia terrestre, si sono avviate pel camino eruttivo verso la superficie. In questa esplosione, gli strati superficiali del suolo o quei materiali che hanno antecedentemente ostruito l'orifizio del ca-

mino vulcanico, sono lacerati, frantumati, polverizzati e lanciati in aria ad enorme altezza e talvolta in quantità non meno grandiosa, commisti alla stessa lava che infuocata

Fig. 14 — *Nube di vapore e di ceneri formatasi sul Vesuvio nell'eruzione dell'aprile 1906.*

tende a traboccare. I materiali e gli strappi di lava più grossolani, che formano i proietti vulcanici ed i così detti lapilli, ricadono subito tutt'all'ingiro, formando il cumulo conico di materiali incoerenti, svasato al colmo dal così detto *cratere,* che circonda in modo così tipico la bocca erut-

tiva (Fig. 13); ma i materiali più finamente frantumati, quelli costituenti le ceneri del vulcano, rimangono spesso lungamente sospesi nell'aria, formando una fitta nube giallognola o nerastra, impenetrabile ai raggi solari, agitata dalle correnti d'aria e trasportata spesso a grande distanza dai venti. Le ceneri del Vesuvio non di rado caddero sino a Genova, sino nell'Arcipelago, sino a Costantinopoli. Durante la famosa eruzione del 1883 del vulcano Kracatoa
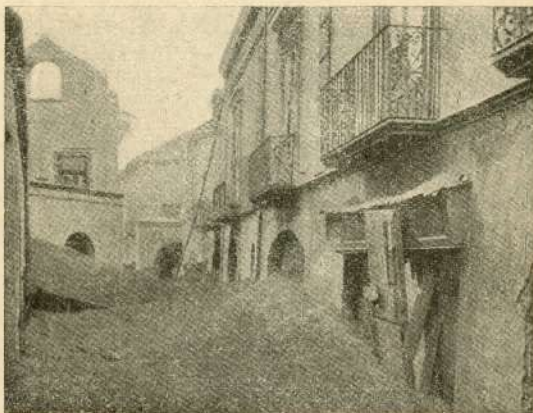
Fig. 15 — *Ceneri cadute ad Ottaiano durante l'eruzione del Vesuvio nell'aprile 1906.*

nell'arcipelago della Sonda, le ceneri caddero sino a Calcutta qualche migliaio di chilometri distante, e tre mesi dopo l'eruzione ancor si vedevano sospese nell'aria.

Nella eruzione vesuviana del 1906, narrano i testimoni oculari, che entrando con la ferrovia nella gran nube nera da cui tutto il vulcano era avvolto, si provava l'impressione che si prova entrando in una galleria perfettamente oscura (Fig. 14 e 15).

La tensione dei vapori è la causa immediata delle esplosioni. — Ma insieme con le ceneri ed i materiali so-

lidi, nella fase esplosiva di una eruzione, viene anzitutto a formarsi una gigantesca nube di vapori. E' infatti essenzialmente la tensione del vapor d'acqua di cui sono impregnate

Fig. 16 — *Nube di vapori e di ceneri formatasi durante l'eruzione avvenuta nel maggio 1902 della montagna Pelée alla Martinica.*

le masse laviche quella che, spiegandosi con energia incalcolabile, forma l'agente attivo dell'esplosione stessa. La

nube di vapor d'acqua si lancia spesso in alto verticalmente, come una gigantesca colonna, e poi si dilata a pennacchio, pigliando l'aspetto di un enorme pino a ombrello, che le ha valso appunto il nome di *pino vulcanico*
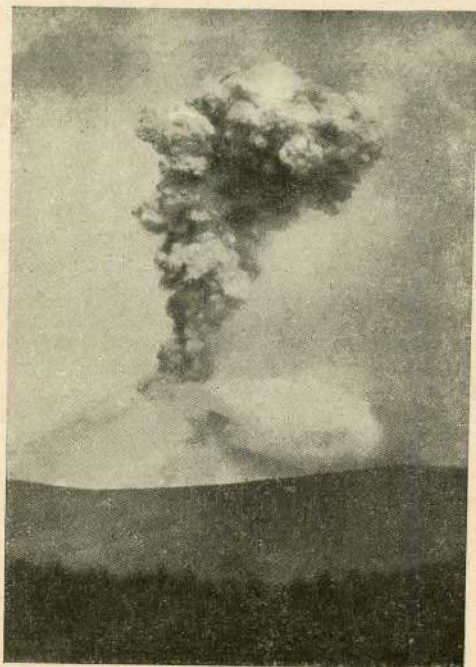
Fig. 17 — *Pino vulcanico formatosi sul vulcano Asama-Yama nel Giappone.*

(Fig. 16 e 17). Tale nube, rinvigorita e rinnovata dalle successive esplosioni, che spesso si ripetono a brevi intervalli versando nell'aria ingentissime quantità di vapori, si scioglie talvolta in pioggia; ed allora son torrenti di fango che si

riversano dai fianchi del vulcano, travolgendo e distruggendo ogni cosa.

Origine dell'acqua che accompagna le eruzioni. — D'onde viene l'acqua che impregna in proporzioni tanto grandiose le masse laviche e contribuisce in modo certo non trascurabile al loro moto d'ascesa traverso gli strati della crosta terrestre? L'origine sua è probabilmente duplice. Da una parte dobbiamo pensare alle acque d'infiltrazione, che dalla superficie del suolo si spingono lentamente sino a grande profondità, e forse raggiungono le zone della crosta terrestre dove la temperatura è sufficientemente alta per formare quelle masse di materiali difficilmente definibili nelle loro condizioni fisiche, che sono i magma lavici. D'altra parte poi dobbiamo pensare che sin dai remotissimi tempi in cui la terra era ancor formata da materiali interamente fusi, questi, sottoposti alla enorme pressione che in allora esercitava la spessa atmosfera del nostro globo, misurata forse a migliaia e migliaia d'atmosfere, debbono essersi, in ragione della pressione stessa, interamente impregnati di umidità; e questa umidità più non poterono abbandonare, perchè mai non diminuì sopra di essi la pressione, dopochè furono sepolti sotto la spessa coltre solida che, con una potenza di decine di chilometri, li comprime. In parte almeno, adunque, il vapor d'acqua, che sormonta a guisa di pennacchio i nostri vulcani, rivedrebbe la luce del giorno dopo milioni di anni che passò imprigionato nelle masse caldissime della profondità della terra.

Fase di deiezione o di emissione delle lave. — La fase esplosiva, ch'è spesso la sola di un'eruzione vulcanica, specialmente nei vulcani a lave poco fusibili, è talvolta seguita dalla così detta *fase di deiezione*. I magma lavici, che per la tension dei vapori di cui sono impregnati e per le pressioni della crosta terrestre son saliti sino alla superficie, traboccano dal camino vulcanico e si riversano in forma di colata sui fianchi del vulcano, aprendosi spesso la via traverso i cumuli di materiali incoerenti

che il vulcano stesso ha ammonticchiato durante la fase esplosiva o nelle eruzioni precedenti.

Nulla di più imponente di una corrente di lava che scende, talora con notevole rapidità, dal pendio di un grande vulcano. La massa fusa, spesso con una temperatura non lontana dai 1500 gradi, tutta fumante pei vapori che da essa si sprigionano continuamente, ricoperta da cumuli di scorie che trascina in basso col cupo rumore di una frana, nella notte appare rutilante come una corrente di fuoco, e solo dopo lungo tempo si raffredda e solidifica completamente. Il volgo, colpito dalla grandiosità del fenomeno, crede che l'emissione delle lave sia veramente il fatto più tipico delle manifestazioni vulcaniche, e ci sono vulcani, come quelli delle isole della Riunione, che alla emissione di lave limitano ogni loro azione; ma effettivamente sono più numerosi i casi in cui l'eruzione si limita alla sola fase esplosiva od in cui quest'ultima ha una importanza prevalente, tanto che la massa di lava eruttata rimane di molto inferiore alla massa dei detriti accumulata durante le esplosioni iniziali.

Emanazioni gassose segnano il terminare di un ciclo eruttivo. — Terminata l'emissione delle lave, il vulcano, ordinariamente, continua a lungo a sprigionare dalle crepe e dalle fessure del terreno gas e vapori, i quali, caldissimi da principio e durante la stessa fase di deiezione, vanno a mano a mano raffreddandosi, e la loro composizione si semplifica. Questi getti gassosi si chiamano comunemente *fumarole*, e, quando son ricchi di composti solforosi, tanto che le pareti delle loro bocche d'emissione si coprono di abbondanti incrostazioni sulfuree cristalline, son detti *solfatare*. E quando anche queste più umili manifestazioni dell'attività interna della terra sono scomparse, il vulcano può dirsi spento.

La vita di un vulcano comprende di solito diversi cicli eruttivi — E' necessario però subito osservare che ben raramente un vulcano chiude la sua vita in un semplice ciclo eruttivo, quale noi abbiamo qui fugace-

mente descritto; di solito la vita di un vulcano comprende numerosi parossismi, separati talvolta da lunghi periodi di relativa tranquillità, così che non sempre si può affermare che un vulcano inattivo sia definitivamente spento. Sonvi poi vulcani che per secoli e secoli durano in una sola fase eruttiva, o, per meglio dire, conservano lunghissimamente un dato tipo di attività, come, ad esempio, lo Stromboli ed il Kilauea nelle isole Auai, che da tempo immemorabile si presentano come immensi pentoloni di lava ribollente.

Mole talvolta grandiosa delle montagne vulcaniche. — Da tutto quanto abbiamo detto, e pensando che non
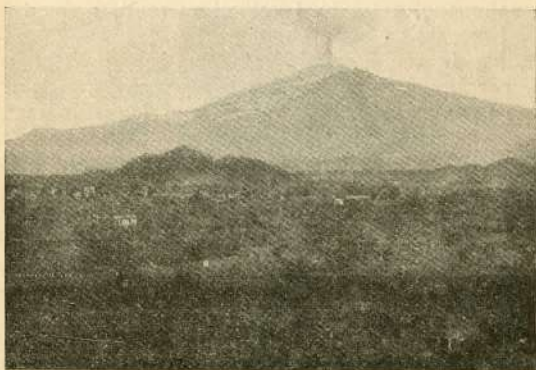
Fig. 18 — *La mole dell'Etna (3300 m.) vista da Nicolosi.*

di rado i grandi vulcani, in un solo periodo eruttivo, possono emettere miliardi e miliardi di metri cubi di ceneri e colate laviche di decine di chilometri d'ampiezza, di leggeri si comprende come le montagne vulcaniche, frutto spesso di numerose eruzioni sommanti i loro effetti, costituite di cumuli di detriti resi coerenti e tufacei dal tempo e di vaste colate laviche, possano rappresentare imponenti costruzioni, gareggianti per grandiosità con le masse montuose sollevate nei movimenti della crosta terrestre, alle

quali abbiamo antecedentemente accennato. Ed infatti, anche senza ricorrere all'esempio delle gigantesche serie di vulcani delle Ande peruviane e dell'Equador, che toccano con le loro vette i 7000 metri d'elevazione o dei vulcani dell'Alasca, o delle isole vulcaniche del Pacifico, basta considerare la immane mole del nostro Etna, che dal livello del mare sino ai 3300 metri del suo vertice e pel perimetro di un centinaio di chilometri è interamente formato da materiali da esso eruttati, per persuaderci dell'importanza che ha il fenomeno vulcanico nelle trasformazioni della superficie terrestre (Fig. 18).

Vulcani attivi ed estinti. — I vulcani attualmente attivi sommano, secondo i calcoli correnti, a poco men di quattrocento, e più sono quelli che hanno avuto vita attiva in tempi geologicamente recenti. Chi percorra, per limitarci all'Italia, i colli Euganei, o la bella regione Laziale disseminata di rotondi laghetti craterici, o la Campania, facilmente s'accorgerà, dalle forme dei rilievi, dalla natura delle rocce costituenti qua e là il suolo, di trovarsi in luoghi che in tempi non lontani furon teatro di imponenti manifestazioni vulcaniche. E, se vuolsi, nella stessa regione alpina, sia nelle belle montagne del Vicentino, sia sulle ridenti sponde del Ceresio, non sarà troppo arduo rilevare numerose tracce di antichissime eruzioni, attestate dalle masse di rocce laviche, facilmente riconoscibili per il loro aspetto vitrigno o cristallino, che ivi largamente si stendono. Neri basalti colonnari, porfidi rossicci o cinerei, qui e dovunque s'incontrano, ed altro non sono che lave irrigidite di antichi vulcani.

Masse eruttive che non raggiungono la superficie del suolo. — Ma il fenomeno eruttivo non appare in tutta la sua enorme importanza, se, come dicemmo da principio, vogliamo limitarlo alle manifestazioni esterne del vulcanismo. Esso è ben più complesso, e conta ben altro nel suo attivo.

Noi abbiam detto che un vulcano consta essenzialmente di una grande frattura della crostate rrestre che permette

ai magmi fusi esistenti in profondità di ascendere sino alla superficie, spinti dalle pressioni delle masse rocciose circostanti e dalla stessa tensione dei vapori che li impregnano. Ora possono darsi dei casi, e probabilmente si son dati di frequente nella storia della terra, in cui magmi eruttivi ascendano verso la superficie, attraverso meati e cavità formatisi nella compagine della crosta solida del globo nei movimenti da questa subiti, senza giungere sino alla luce del giorno, perchè manchi loro la via o non sappiano aprirsela. In questi casi, enormi masse fuse vengono a portarsi in luoghi dove le condizioni di temperatura non son tali da mantenerle nel loro stato, e lentamente si raffreddano e solidificano, formando per entro gli strati della crosta terrestre ingenti massicci, a forma di cupola, le cui radici si perdono in profondità, costituiti da materiali rocciosi cristallini fortemente analoghi a quelli delle lave.

Siffatti cupoloni, chiamati dai geologi col nome di *laccoliti* o di *batoliti*, visibili solo quando l'erosione superficiale tolga la spessa coltre di strati dalla quale son coperti, e costituiti da quei materiali rocciosi tanto noti, che sono i graniti, le sieniti, le dioriti, i gabbri, formano parte integrante di primissimo ordine nella costituzione della crosta solida del globo. Chi dicesse ch'essi, e i terremoti che probabilmente accompagnano la loro formazione, rappresentano dei vulcani abortiti non andrebbe in certi casi molto lontano dal vero, quantunque, considerando bene la questione, appaia più esatto il dire che il fenomeno vulcanico è un episodio particolare e non necessario di questi fenomeni di formazione e di ascesa dei magmi, che complessivamente chiamansi fenomeni eruttivi. Anche in una effusione vulcanica di lave, le masse che vengono a giorno non sono infatti che una parte, spesso assai piccola, di un grande movimento di ascesa di magmi, i quali, in proporzione ben maggiore, rimangono in profondità e, solidificando, saldano la frattura della crosta terrestre traverso la quale trovaron adito fino alla superficie.

I fenomeni eruttivi sono dunque invero legati ai movimenti della litosfera. — Intesi così, i fenomeni

eruttivi appaiono chiaramente legati, come dicemmo sin da principio, ai grandi movimenti della crosta del globo ed alle condizioni che regnano nell'interno di questo. Le masse profonde, già caldissime a 30-40 chilometri dalla superficie, mantengono un notevole grado di rigidità sin quando dura la pressione degli strati soprastanti: appena questa venga, per una causa qual si voglia, a diminuire, esse acquistano una relativa fluidità, anche nel senso comune della parola, e si spingono traverso le vie che trovan libere dinanzi a sè.

Una concezione di questo genere, accettata da molti geologi, spiega infatti una lunga serie di fatti che si collegano al fenomeno eruttivo, e si concilia anche con la constatata mancanza di maree nelle masse fuse profonde, le quali invece dovrebbero presentarne se, come si credette un tempo, sotto la crosta solida superficiale, relativamente esile, dovessero formare un vastissimo mare infuocato.

Grandiosità dei fenomeni endogeni. — Essi alterano la figura della terra. — Comunque sia, poi che è tempo ormai di concludere, il quadro dei fenomeni endogeni originati, in ultima analisi, dal calore interno della terra, e da noi delineato a vastissime linee, si presenta oltremodo grandioso. Possiamo anzi affermare che dai fenomeni endogeni essenzialmente derivi la fisonomia generale della faccia della terra, co' suoi rilievi, co' suoi continenti, co' suoi bacini oceanici. Se ben consideriamo infatti quale sia l'effetto finale di questi fenomeni, vediamo che e terremoti e bradisismi e movimenti orogenetici e vulcani e laccoliti hanno tutti come ultima conseguenza il formarsi di asperità, di disuguaglianze, di dislivelli più o meno bruschi e risentiti sulla superficie del globo. E la loro azione ha persistito per tutti i tempi geologici ed ancor oggi perdura, poichè tali disuguaglianze della figura della terra tuttora si vedono, mentre un'altra coorte di agenti geo-dinamici tende pure instancabilmente a farle scomparire.

SETTIMA LEZIONE

L'aria, le acque circostanti, i ghiacciai come trasformatori della faccia della terra.

I fenomeni geodinamici esterni. — Sin dalle prime pagine di questa operetta abbiamo contrapposto ai fenomeni di origine interna i così detti fenomeni geodinamici esterni, ossia quei fenomeni che hanno per ambiente principale l'atmosfera e la idrosfera terrestri, e per causa prima essenzialmente il calore e la luce solari.

Se non esistesse aria nè acqua alla superficie della terra, la configurazione di questa dipenderebbe esclusivamente, o quasi, dai fenomeni endogeni, e si può affermare ch'essa presenterebbe in tal caso una grande uniformità di motivi, come ad esempio constatiamo per la superficie della luna. E' superfluo poi aggiungere che ogni forma di vita organica, simile a quella che anima la superficie del globo, sarebbe impossibile : e di conseguenza mancherebbe a dar varietà al quadro anche questo potente agente geologico.

L'azione dell'atmosfera. — L'azione dell'atmosfera è multiforme e complessa, e sarebbe fuor di luogo il farne qui una trattazione completa. Ci limiteremo quindi a toccarne qualcuno dei punti principalissimi.

Azione chimica dell'aria. — Abbiamo già antecedentemente accennato alla composizione ed allo spessore dello strato gasoso che involge il nostro globo. I gas componenti dell'aria atmosferica, e specialmente l'ossigeno e l'anidride carbonica, non son senza effetto chimico sui materiali costituenti la crosta terrestre, e la loro azione

è potentemente aiutata dalla costante presenza nell'aria di umidità. Noi infatti vediamo, anche senza analizzare troppo minutamente il fenomeno, che tutte le rocce esposte all'aria sono senza eccezione intaccate dall'azione chimica di essa e ricoperte da uno strato più o meno spesso di alterazione; tanto che se noi vogliamo aver roccia sana, ad esempio per scopi pratici, dobbiamo addentrarci talvolta notevolmente sotto la superficie del suolo. Tale azione alteratrice, che si riduce essenzialmente ad una ossidazione dei varii minerali costituenti le rocce, ha per effetto di disgregare le rocce stesse, rendendole più facile preda degli altri agenti distruttori.

Le alternanze di temperatura del suolo aiutano l'azione dell'aria. — L'azione chimica dell'aria è poi resa senza confronto più profonda da un altro fenomeno concomitante, in cui l'atmosfera non ha che una parte puramente passiva. Voglio dire delle variazioni di temperatura alle quali sono sottoposte le rocce costituenti il suolo nel corso della giornata e dell'anno. Specialmente in alcune regioni, come nella zona tropicale e sulle alte vette dei monti, le rocce subiscono giornalmente un enorme sbalzo di temperatura, passando dall'alta temperatura diurna a quella talvolta bassissima della notte, e in questa alternanza, succedendo alla dilatazione di volume prodotta dai raggi solari una brusca contrazione prodotta dal notturno irraggiamento calorifico, si screpolano e si disgregano, a lungo andare, profondamente.

L'atmosfera modera gli sbalzi di temperatura. — Il calore solare e il moto terrestre son le cause principali di questo fenomeno fisico: ma l'atmosfera, quantunque indirettamente, vi ha una parte importantissima. Infatti la spessa coltre gasosa della terra funziona, sotto questo riguardo, come agente moderatore, e fa sì che le variazioni di temperatura fra il giorno e la notte siano senza confronto meno sensibili di quanto sarebbero se essa mancasse. L'atmosfera, specie per la natura di taluno de' suoi componenti, compie rispetto alla superficie

del suolo un ufficio analogo a quello dei vetri di una serra; i quali, come ognuno sa, lasciano passare con grande facilità il calore irraggiato dal sole durante il giorno, ma non permettono che con relativa difficoltà la dispersione del calore durante la notte; tanto che l'ambiente interno della serra stessa, anche senza il concorso di una stufa, si mantiene sensibilmente più caldo e meno variabile dell'esterno.

Le sole condizioni fisiche in cui si troverebbe la superficie terrestre se mancasse l'atmosfera, o se questa fosse composta di gas più trasparenti ai raggi calorifici scuri, basterebbero a rendere inabitabile il nostro globo.

Effetti di una variazione di composizione dell'aria. — Di leggeri s'intende quale possa essere adunque l'importanza anche di una semplice variazione nella composizione dell'aria. Diremo anzi che alcuni scienziati hanno voluto attribuire ad un cambiamento nella percentuale dell'anidride carbonica dell'aria e dell'umidità atmosferica alcune probabili variazioni climatiche, che sarebbero avvenute in epoche geologiche passate, e di cui gli strati della crosta terrestre serbano tracce piu o meno sicure. Non è infatti priva di base la ipotesi che i climi durante il corso dei tempi geologici abbiano più volte cambiato, e che in alcuni periodi della storia della terra abbia su questa regnato un clima caldo e asciutto, mentre in altri il clima fosse piuttosto freddo ed umido. La questione è complessa e difficile da risolversi, perchè le cause di variazione del clima di una data regione possono essere molte, ma è certo però che, come sostenne ad esempio l'Arrhenius, il modificarsi della quantità di anidride carbonica nell'aria può bastare a far variare di molto le medie di temperatura della superficie terrestre; e ciò unicamente perchè a questo gas è legata in gran parte la funzione protettrice dell'atmosfera, alla quale abbiamo or ora accennato.

Basterebbe la scomparsa dell'anidride carbonica dall'aria, od anche solo una notevole riduzione di essa, perchè sulla terra si stabilisse un vero e proprio clima gla-

ciale; la quale ultima cosa, è bene dirlo subito, si è certamente verificata a più riprese nei tempi geologici, per una causa di tal genere o per altre.

Da ciò dunque si può dedurre, senza bisogno di altre considerazioni, quanta sia l'importanza geologica dell' involucro gasoso della terra. Ma il disegno, sebbene estremamente sintetico, non sarebbe completo, se non ricordassimo, insieme agli effetti chimici e fisici dell' aria, i potenti effetti meccanici ch'essa può produrre quando sia animata da un rapido moto.

Effetti meccanici dell'atmosfera. — Ognuno sa che raramente, ed in poche regioni del globo, l'aria si mantiene a lungo in perfetta quiete; chè anzi sonvi intere zone della superficie terrestre battute periodicamente da correnti d'aria regolari e costanti. E quando gli spostamenti delle masse atmosferiche radenti la superficie del suolo raggiungono una notevole velocità, acquistano una rilevante forza viva e possono di conseguenza esercitare sui corpi che incontrano sul loro cammino uno sforzo non lieve. L' azione meccanica del vento si manifesta sia sotto forma di un trasporto di materiali rocciosi finamente divisi, che sotto forma di una speciale erosione, chiamata dai geologi *corrasione*. Entrambe queste azioni si esercitano come è facile intendere, specialmente là dove i venti spirano a lungo ed impetuosi con una direzione costante, e dove trovano materiali atti alla loro rapina. Sulle spiagge marine sabbiose e sui deserti coperti di mobili arene si spiega infatti l'azione di trasporto del vento con particolare grandiosità, ed ognuno sa, ad esempio, che ogni volta che spiri il *simun* la superficie del Sahara muta aspetto e figura (Fig. 19). Le masse di sabbia, portate dal potente soffio del vento, formano lunga serie di colline, chiamate *dune* (Fig. 20), e caratterizzate appunto dalla loro mobilità e dalla loro forma ondulata, a semicerchio. Le dune coprono di uno sterile strato molte plaghe della superficie della terra, ma sonvi ancora altri depositi di materiali rocciosi disgregato che debbono la loro origine all'azione dei venti; nella Cina, come del resto in altre regioni del

globo, s'incontrano estesissimi tratti del suolo occupati da uno speciale deposito, chiamato *loess,* che, secondo l'opi-

Fig. 19 — *Nube di sabbia sollevata dal* simun.
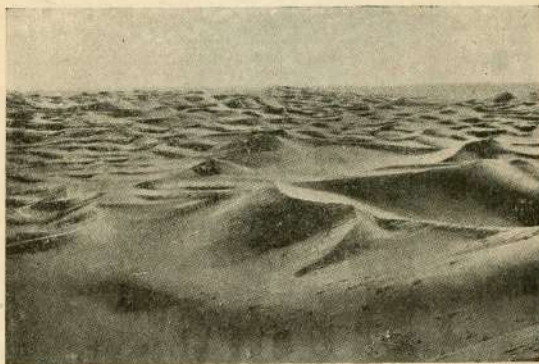
Fig. 20 — *Mare di sabbia nel sud-est algerino*
(Esempio grandioso di dune desertiche).

nione comune, è dovuto all'accumularsi di materiali rocciosi finamente divisi convogliati da grandi correnti aeree re-

golari e abbandonati là dove queste perdono, con la velocità, anche la forza di trasporto (Fig. 21).

Di leggeri si comprende pure come correnti d'aria impetuose e trascinanti con sè sabbie od anche fine ghiaie, urtando contro rupi e pareti rocciose, possano esercitare sopra di esse un'energica azione erosiva. Si citano infatti esempi di regioni costeggianti i deserti o poste sulle creste dei monti verso le selle, in cui superfici di rocce esposte ad un'azione di tal genere sono propriamente limate, intaccate ed infine distrutte; e gli stessi ciottoli
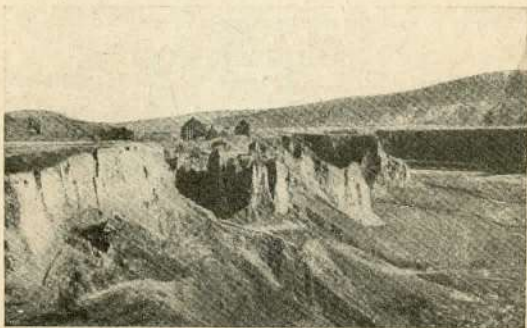
Fig. 21 — *Depositi di* loess *nella Cina.*

che coprono il suolo o i massi rocciosi che sorgono su di esso acquistano una speciale e caratteristica forma di erosione (Fig. 22).

Il calore solare è la causa prima delle correnti d'aria. — La distribuzione dei mari e delle terre emerse e il moto diurno della terra hanno un notevole effetto sull'andamento delle correnti d'aria, come pure sul loro stesso generarsi, ma la causa prima di essi sta nel calore inviato dal sole sulla terra, il quale, come riscalda inegualmente le masse d'acqua ed il suolo asciutto, inegualmente si distribuisce anche nelle varie latitudini del globo; e dove si ha un più forte riscaldamento si ha un richiamo

d'aria perchè quivi si formano correnti ascendenti d'aria calda e leggera.

L'umidità dell'aria. — Alle immense plaghe della terra ricoperte dall'oceano è legata poi essenzialmente

Fig. 22 — *La « Pietra oscillante » di Sierra Tandil nell'Argentina, ora caduta.* (Esempio di erosione atmosferica su rocce granitiche).

l'umidità dell'aria, che, dal punto di vista geologico, ha un'importanza invero fondamentale. Le superfici acquee, specie sotto il dardeggiare dei raggi solari, inviano continuamente nell'aria, evaporando, una quantità enorme di umidità, a cui s'aggiunge quella che provien dalle aree

emerse e dalle emanazioni vulcaniche; e le correnti aree la trasportano e la distribuiscono su tutta la superficie del globo. Ma l'umidità dell'aria non aumenta indefinitamente, chè a tale aumento illimitato si opporrebbero le stesse leggi fisiche; infatti, come ognun sa, l'aria non può caricarsi di umidità oltre un certo punto, raggiunto il quale, essa dicesi *satura*. La quantità massima di umidità che può rimaner disciolta nell'aria, o, in altre parole, il limite di saturazione di questa, si innalza con l'aumentare della temperatura; un volume d'aria satura, poniamo, a 10 gradi centigradi, non lo è più a 20 gradi, e viceversa, un volume d'aria saturo a 20°, diventa soprassaturo a 10°; in tal caso tutta l'umidità che in esso sta sopra il limite di saturazione, diminuendo la temperatura, si condensa sotto forma di fine goccioline sospese, le quali posson poi riunirsi a formare delle gocce più grosse o, se la temperatura è sufficientemente bassa, degli aghetti o dei cristallini di ghiaccio. Tale la ragione fisica di ogni precipitazione atmosferica, dalla rugiada, prodotta dal rapido raffreddarsi della superficie del suolo nelle notti serene, alle pioggie, alle nevi. La formazione delle nubi di pioggia o di neve ha infatti per causa prima il brusco raffreddarsi di masse o di correnti d'aria cariche di umidità, le quali o nel loro moto si portano in regioni dell'atmosfera a bassa temperatura o incontrano e si mescolano a correnti d'aria fredda. Ora, dove e quando può avvenire un fenomeno di questo genere? Diremo anzitutto che un raffreddamento di masse d'aria si verifica, come è naturale, più frequentemente nelle zone temperate e glaciali, che nella zona torrida, e nell'inverno più che nell'estate, ciò che spiega la distribuzione delle pioggie nelle varie latitudini e nelle diverse stagioni sulla quale è inutile insistere; ma quanto più conta notare nei rapporti della geologia, è l'azione esercitata sulla formazione di aeree di pioggia dai rilievi montuosi. Ognuno sa che, di mano in mano che ci si eleva sul livello del mare, a parità di ogni altra condizione, la temperatura dell'aria diminuisce, ed a grande altezza può giungere a gradi bassissimi: ciò che si spiega con quanto abbiam detto prima circa l'azione protettiva dell'atmosfera, e ciò che spiega

perchè volentieri andiamo a passar l'estate in mezzo ai monti.

Le montagne favoriscono il formarsi di pioggie e di nevi. — Ora, è facile intendere che, se una corrente d'aria calda e umida radente la superficie terrestre, viene a battere contro una catena di monti, deve inalzarsi lungo il fianco di questi, e portarsi di conseguenza in regioni sempre più fredde; è probabile quindi che essa diventi soprassatura di umidità, e dia luogo al formarsi di nubi e di precipitazioni piovose o nevose. Si spiega così la distribuzione delle aree di massime pioggie lungo i fianchi delle catene montuose, e specialmente lungo il fianco ch'è rivolto contro le più frequenti correnti aeree calde e umide. Per citare un esempio, diremo che la regione alpina è ben più ricca di pioggie delle regioni pianeggianti che son nella sua stessa latitudine, e il versante meridionale di essa, battuto dai venti caldi ed umidi provenienti dall'Adriatico e dal Mediterraneo è molto più piovoso del versante settentrionale, quantunque questo sia sensibilmente più freddo. Un fenomeno analogo si verifica pei due versanti dell'Himalaya.

L'azione dei rilievi montuosi sul generarsi delle precipitazioni atmosferiche è di capitale importanza per la geologia, e su di essa torneremo in seguito.

Che cosa avviene delle acque di pioggia. — Vediamo ora brevemente che cosa avvenga delle acque che, portate nell'aria specialmente per opera del calore solare, e distribuite dovunque dalle correnti atmosferiche, precipitano poi, presto o tardi, e sotto varia forma, di nuovo sul suolo.

E' appena necessario ricordare, innanzitutto, che esse aiutano potentemente l'azione alteratrice e disgregante dell'atmosfera alla quale abbiamo sopra accennato. Lasciando da parte per un momento le precipitazioni nevose, diremo che le acque di pioggia, durante la loro caduta e appena che questa si avvenuta, subiscono una netta triplice divisione: una parte di esse evapora di nuovo,

e non è sempre la minore; una parte viene in vario modo assorbita dal suolo; ed una terza scorre sulla superficie di questo.

Della prima porzione non è il caso di occuparci. Vediamo invece quale sia l'importanza geologica delle altre.

Le acque d'infiltrazione. — Alle acque d'infiltrazione abbiamo fatto cenno in una delle antecedenti lezioni, ricordando l'acqua che imbeve le rocce sino a notevole

Fig. 23 — *Stalattiti nelle grotte di Adelsberg, nella Carniola.*

distanza dalla superficie del suolo, ma è bene notare come esse, a minor distanza dalla superficie, formino una vera e propria rete circolante, con modalità molto varie a seconda della natura del suolo, ma sempre con effetti geologici rilevantissimi, sia che le consideriamo durante il loro corso sotterraneo, sia che le consideriamo quando ritornano a giorno.

Senza entrare in particolari, ciò che sarebbe contrario al nostro scopo e ci porterebbe assai lontano, basta infatti ricordare che le acque di circolazione profonda, esercitando ora una azione solvente e disgregante, ora una

azione di deposito e cementante, provocano in talune regioni la formazione di caverne e di grotte, in altre saldano invece le fessure e i vani delle rocce, deponendovi spesso minerali utilmente ricercati. Gli scoscendimenti e le frane, predisposti spesso dalla natura del suolo, trovano altrettanto frequentemente la loro causa immediata nell'azione delle acque sotterranee, che imbevono e spappolano le rocce poco coerenti e fanno slittare sopra di

Fig. 24 — *Il « Palazzo di cristallo » nelle grotte di Yallingup (Australia Occidentale).*

esse le rocce soprastanti : nè dobbiamo, per nostra sventura, cercar troppo lontano gli esempi, chè la regione appenninica è regione classica per le frane.

Dove le rocce siano solubili nell' acqua, come avviene nelle montagne e nelle regioni calcaree, tutta la configurazione anche superficiale del suolo risente gli effetti della circolazione profonda. E l'altipiano istriano e il Carso ci offrono un tipico esempio di regioni in cui le acque di pioggia, appena cadute, sono inghiottite dalle fessure del suolo, e trovano in profondità una rete di grotte e gallerie festonate di stalattiti entro le quali circolano e per mezzo delle quali scendono nascostamente al mare (Fig. 23 e 24).

La superficie, priva quasi completamente di acque, è sterile e desolata come un deserto.

Geologica e pratica importanza hanno le sorgenti, siano esse fredde o termali, ma la loro azione si collega chiaramente con quella delle acque superficiali, di cui ora diremo e che hanno un'influenza modellatrice della faccia della terra senza confronto maggiore.

Le acque di dilavamento. — Le acque di pioggia che cadono sui fianchi dei monti, prima di raccogliersi in un letto a costituire un vero e proprio corso d' acqua, percorrono spesso un tratto anche notevolmente lungo di cammino sotto forma di un fittissimo reticolato di rivoletti, quasi di un velo liquido superficiale dilavante il pendio roccioso del suolo. Tali acque circolanti diconsi appunto di *dilavamento*, ed hanno un effetto non trascurabile dal punto di vista della erosione del rilievo. Esse infatti bastano per smuovere e trascinare in basso i piccoli frammenti di roccia, derivanti dall'azione disgregante dell' aria e dei geli notturni. Al piede di ogni guglia, di ogni parete rocciosa, in alta montagna dove queste azioni sono più intense, noi

Fig. 25 — *Le cime di Lavaredo* (Esempio di monti dolomitici con cumuli di detrito di falda).

vediamo infatti cumuli spesso grandiosi di detriti, che non hanno altra origine all'infuori di questa e che dànno alla montagna stessa quel particolare aspetto di imponente ruina ch'è a tutti noi ben noto, e raggiunge la sua più perfetta espressione nelle montagne dolomitiche a ciò particolarmente disposte per la caratteristica disgregabilità della roccia (Fig. 25).

Le *piramidi di terra* (Fig. 26), che si formarono sui pendii di materiali eterogenei e incoerenti, i solchi a car-
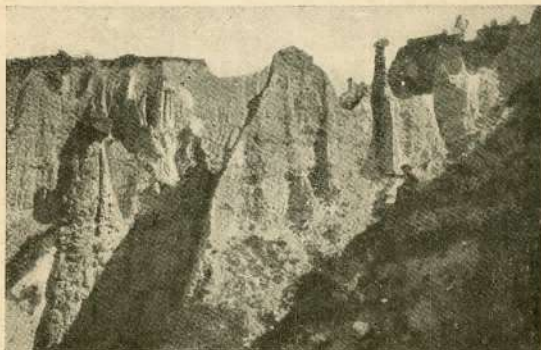
Fig. 26 — *Le « Piramidi di terra » di Cislano, presso Zone, sul lago d'Iseo* (Effetto delle acque di dilavamento che asportano i detriti rocciosi, rispettando i grossi blocchi, che proteggono dall'erosione il terreno a loro sottostante).

reggiata dei monti calcarei, sono pure effetto delle acque di dilavamento, e sono altre facce del grandioso fenomeno erosivo operato senza eccezione da tutte le acque che circolano sui rilievi della crosta terrestre.

L'azione erosiva dei corsi d'acqua. — Ma dove l'azione erosiva assume il suo più potente sviluppo, si è nel letto precipitoso dei torrenti che raccolgono le acque loro dalle alte regioni montuose. Il potere di trasporto di una corrente aumenta enormemente con l'aumentare

della velocità di essa, ed ognuno sa che, mentre il lento corso di un fiume che traversa una pianura non trascina

Fig. 27 — *Letto di un torrentaccio in mezzo ai monti.* (Esempio dell'azione distruttiva dei torrenti in regioni dove il diboscamento favorisce in modo particolare la loro azione).

con sè se non fini sabbie ed argille, un torrentaccio che scorre in una ripida valle può portare con sè ghiaie e

ciottoli e, nei momenti di piena, anche grossi blocchi di roccia. Il letto di un corso d'acqua è in pianura ben
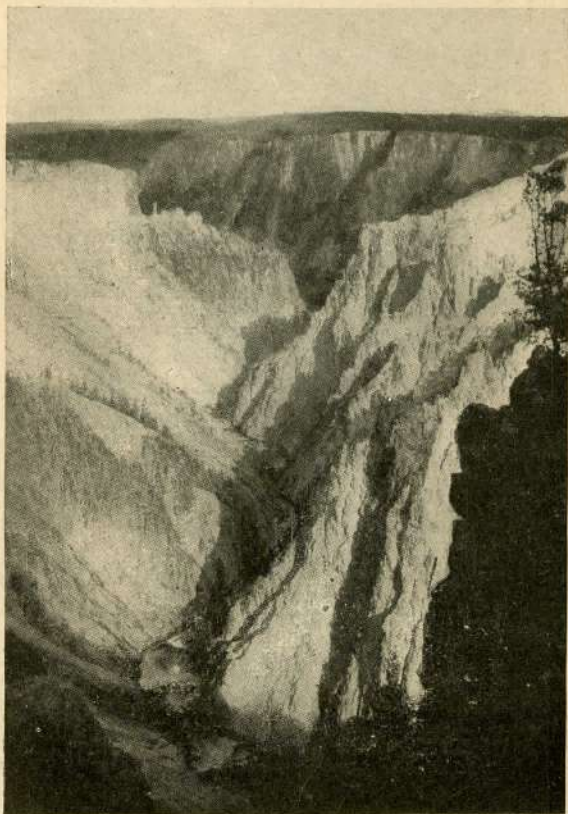
Fig. 28 — *La valle della Yellowstone negli Stati Uniti.*
(Mostra evidente l'azione distruttiva dei corsi d'acqua).

diverso che in mezzo ai monti: là coperto di sottili arene

Fig. 29 — *Conoide dei detriti di un torrente alpino.*

Fig. 30 — *Le cascate dell'Iguazù nell'America Meridionale, che sono forse le più grandi del mondo.* (Esempio della enorme forza erosiva delle cadute d'acqua).

e di fini banchi di ghiaie, è qui ingombro di ciottoloni e di massi (Fig. 27).

Se noi pensiamo che dopo ogni periodo di forti pioggie i torrenti nelle alte valli fan rotolare con le loro torbide acque quantità talvolta enormi di materiali rocciosi, ch'essi strappano dai fianchi dei monti e che la disgregazione atmosferica loro prepara, facilmente comprendiamo quale proporzione possa assumere l'azione erosiva dei mille e mille rivi torrentizî che formano la rete idrografica di una catena montuosa (Fig. 28). Ed invero, sia che noi percorriamo le alte valli e consideriamo in esse la configurazione superficiale del suolo, sia che volgiamo uno sguardo agli immensi cumuli di materiali che ogni torrente depone al suo sbocco in una valle ampia e pianeggiante o in pianura (Fig. 29), dovunque abbiamo irrefutabili prove dell'opera di erosione e di distruzione che le acque circolanti esercitano sui rilievi della superficie terrestre. Le cascate (Fig. 30 e 31), le forre, che ordinariamente sono solchi elaborati da antiche cascate, la forma stessa delle valli, sono altrettanti testimoni dell'azione instancabile dei corsi d'acqua, che approfondano continuamente la loro incisione nel seno massiccio dei monti (Fig. 32). E se consideriamo i chilometri cubi di materiali rocciosi che ogni anno trascinano al mare i soli fiumi delle Alpi; se pensiamo anche solo alle masse enormi di sabbie e di ghiaie onde fu riempita la vallata del Po, rapite principalmente al versante italiano delle Alpi stesse; abbiamo una nuova conferma della grandiosità del fenomeno, che quasi sembra trascendere i limiti del comprensibile.

L'azione di deposito dei corsi d'acqua. — I corsi d'acqua, nel loro tratto montano, erodono e trasportano. I detriti rocciosi da essi convogliati, durante il tormentoso cammino, si riducono in frammenti sempre più fini e son portati sino in pianura, dove l'azione del corso d'acqua, per la diminuita sua velocità, è essenzialmente di deposito, mentre l'azione di trasporto si conserva solo pei materiali finissimi. Ciò, s'intende, prescindendo dalla alternanza delle piene e delle magre, in cui uno stesso tratto del corso
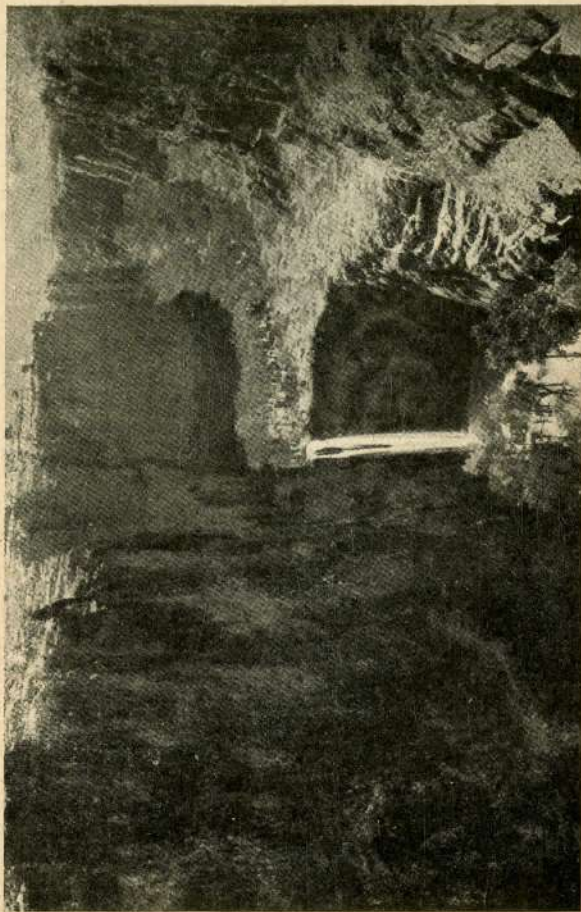
Fig. 31 — *Cascata del canon dell'Havasu.* (La forra, in fondo alla quale il fiume precipita, è evidente prodotto dell'azione erosiva della cascata stessa).

d'acqua può passare da una fase erosiva ad una di deposito.

Allo sbocco di un grande fiume nel mare o in un lago,

Fig. 32 — *Il Gran Canon del Colorado (America del Nord).* Enorme incisione fatta dalle acque negli strati orizzontali costituenti l'altipiano del Colorado.

e specialmente se il fiume ha un notevole percorso in pianura, non giungono che i detriti finissimi o sabbie minute. Di questi, le parti più fine rimangono sospese nelle acque del mare e lentamente si depositano sul fondo sopra

una vasta estensione, mentre le parti più grossolane e pesanti precipitano, non appena la corrente fluviale è fermata dalle acque marine, e formano talvolta un'area di delta, che si protende a poco a poco entro mare.

Le Alpi, come tutte le catene, saranno distrutte dai corsi d'acqua. — Ora, se, fermandoci all'esempio delle Alpi che ciascuno di noi ben conosce, riflettiamo per un momento alla moltitudine dei corsi d'acqua che ne scendono, in Italia e fuori, se pensiamo all'azione incessante di questi, che portano materiali alpini all'Adriatico, al Mediterraneo, al mar del Nord, al mar Nero, dobbiamo certo domandarci se verrà un momento in cui tutta la massa delle Alpi non sarà completamente distrutta dalla lima instancabile delle acque.

E la risposta non può esser dubbia : la vita delle nostre belle Alpi, come del resto la vita di ogni rilievo montuoso, poi che la legge è generale, non può essere che limitata. Se un novello sollevamento, e continuo, non controbilancia l' azione distruttiva delle acque circolanti, ciò che deve considerarsi come un caso eccezionale ed improbabile, qualunque massiccio di monti deve presto o tardi scomparire dalla faccia della terra.

Ed i geologi in verità credono di aver trovato traccia di almeno quattro grandi gruppi di sollevamenti, che durante la storia della terra avrebbero in varie epoche corrugato la faccia del nostro globo ; i primi tre sarebbero stati completamente distrutti ; il quarto, geologicamente recente, è il ripiegamento alpino, che generò le catene principali che noi ora vediamo e con le quali gli agenti esogeni stanno in oggi lottando.

Ciclo di vita di un rilievo montuoso. — Un rilievo montuoso porta con sè, nel momento stesso in cui si forma, il germe della sua fine. Se infatti ripensiamo a quanto abbiam detto più indietro intorno all'effetto prodotto dai rilievi sulle precipitazioni atmosferiche, dobbiamo figurarci il ciclo di vita di una catena di monti come una linea che si chiude su sè stessa. Il sorgere di

un rilievo porta con sè lo stabilirsi di aree piovose; le pioggie alimentano la circolazione superficiale delle acque e formano torrenti e fiumi; questi erodono a poco a poco il rilievo, asportandone senza posa i materiali e depositandoli nelle depressioni marine; il conseguente progressivo abbassarsi del rilievo fa cessare gradualmente la sua azione condensatrice dell'umidità atmosferica, e tutto torna, in un tempo più o meno lungo, pressochè nello stato primitivo.

E' quasi superfluo aggiungere che la semplicità di questo disegno è quasi costantemente turbata dall'effetto degli altri agenti naturali e dalla varietà stessa delle condizioni che si manifestano nei diversi punti della superficie terrestre, ma ciò nulla toglie all'importanza sua nella interpretazione dei più grandiosi fenomeni della dinamica esterna. E tutto questo a tanto maggior ragione, in quanto che, se ripensiamo per un momento alle azioni chimiche, fisiche e meccaniche dell'atmosfera, ci accorgiamo che esse, lungi dal contrastare l'azion delle acque circolanti, si sommano anzi in generale con questa e contribuiscono a renderla più rapida e potente; come pure cospirante allo stesso effetto è l'azione delle precipitazioni nevose, alla quale ora brevissimamente accenneremo.

Precipitazioni nevose. — Nevi persistenti. — Quando la temperatura alla quale avviene una precipitazione atmosferica sia sufficientemente bassa, questa prende, nella grandissima maggioranza dei casi, la forma di neve. Ciò che, come ognun sa, in linea generale, avviene sempre più di frequente di mano in mano che dalla zona torrida ci portiamo verso le regioni polari e dal livello del mare saliamo sul pendio dei rilievi montuosi. In alcune regioni non nevica mai: in altre questa forma di precipitazione atmosferica è la consueta. Ora, dal punto di vista geologico, ha enorme importanza il fatto che in taluni tratti della superficie terrestre la neve che cade nel corso di un anno non si discioglie interamente durante la buona stagione, o perchè la quantità di essa sia grandissima, o perchè le condizioni climatiche non lo permettano. In questi

tratti della superficie terrestre, che son naturalmente posti a grande altezza sul mare o ad elevata latitudine, e che diconsi regioni delle *nevi persistenti*, le nevi dovrebbero accumularsi indefinitamente. Così, ad esempio, in tutta l'area della catena alpina che trovasi oltre i 2700-2800 metri sul mare, e cioè sopra il limite delle nevi persistenti per le nostre regioni, la massa nevosa dovrebbe crescere ogni anno, e non di poco; nè diversamente si

Fig. 33 — *La cima del Monte Bianco (4810 m.) ed i bacini d'alimentazione dei ghiacciai dei Bossons e di Taconnaz.*

dovrebbe dire dell'area dell'Himalaya posta sopra i 4900 m. o delle alte regioni della Scandinavia e della Groenlandia, in cui le precipitazioni nevose superano enormemente quanto i raggi solari siano atti a ridisciogliere.

Come si formano i ghiacciai. — Ma così non è. Le nevi che si accumulano negli alti piani polari o nelle alte vallate delle catene montuose, per lo stesso loro peso e per le parziali fusioni e riconsolidazioni che subiscono nel corso del giorno e dell'anno, si trasformano in nevischio e poi in ghiaccio, e quando siano ridotte in questo stato si comportano, per ragioni che qui non è il caso

di discutere, come masse dotate di una plasticità relativamente notevole. E' per questo che, percorrendo ad esempio le parti più elevate di una valle alpina (Fig. 33 e 34), noi vediamo scendere dagli alti circhi vallivi, come enormi lingue o correnti di ghiaccio, quelle meraviglie naturali che sono i ghiacciai.

Fig. 34 — *I ghiacciai des Bossons e di Taconnaz presi più in basso che nella figura precedente.*

E' il ghiacciaio che, movendosi lentamente ma continuamente da monte a valle, con una corrente simile per molti riguardi, se non per la velocità, ch'è in genere di pochi decimetri al giorno, alla corrente di un fiume, e alimentandosi nella region delle nevi eterne, porta in basso, a disciogliersi in più calde regioni, le ghiacciate precipitazioni dell'alto (Fig. 35).

I ghiacciai sono importanti agenti erosivi e di trasporto. — Ora, quando si rifletta che le sole Alpi

numerano a centinaia i ghiacciai, formanti correnti che giungono a 10–12 e persino 24 chilometri di lunghezza, e che intere regioni della terra ne sono coperte, vien spontanea
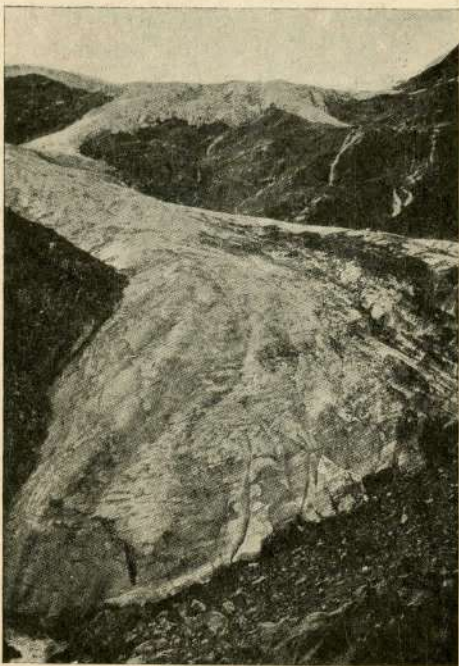
Fig. 35 — *Il ghiacciaio di Buar in Norvegia.* (Si vede scendere dal campo di ghiaccio che sta alla parte alta del rilievo e terminare in basso con una porta che raccoglie le acque di scioglimento del ghiacciaio).

l'idea d'indagare quale sia l'eventuale azione loro come agenti modificatori della superficie terrestre; ed anche senza analizzare troppo minutamente la questione, è facile vedere che i ghiacciai hanno, come i corsi d'acqua, una impor-

tante e duplice azione, di erosione e di trasporto. Infatti non è difficile dimostrare che una massa di ghiaccio, spessa talvolta qualche centinaio di metri e che trascina sotto di sè cumuli di materiali rocciosi tolti ai fianchi dei monti, debba esercitare a lungo andare una potente azione erosiva sul fondo della valle entro cui scorre (Fig. 36). E non meno facile è il figurarsi il ghiacciaio come agente di trasporto. I detriti ed i blocchi rocciosi che franano sul suo

Fig. 36 — *Valle scavata a conca da un ghiacciaio ora scomparso.* (L'agente erosivo della vallata è stato indubitatamente un ghiacciaio, perchè i corsi d'acqua dànno alle valli una forma a solco acuto ben diversa).

dorso, e che penetrano ne' suoi crepacci, che strisciano con esso sul suo letto, sono portati in basso, ben più giù del limite delle nevi, e abbandonati là dove il ghiacciaio stesso si assottiglia e termina, sciolto dall'aria più tiepida delle minori altitudini. *Morene* si chiamano questi cumuli di materiali detritici rocciosi che il ghiacciaio trasporta, e depone, dopo averli lentamente convogliati dall'alto delle creste nevose, sovente sin presso i boschi e i prati verdeggianti della valle ; ed ogni alpinista ricorda di averne

percorso i caotici dorsi e di averne spesso ammirato lo sviluppo grandioso.

Erosione e trasporto sono dunque, come pei corsi di acqua, gli effetti geodinamici di un ghiacciaio, e, sebbene con altre forme e modalità, concorrono al medesimo ultimo fine: la distruzione graduale dei rilievi.
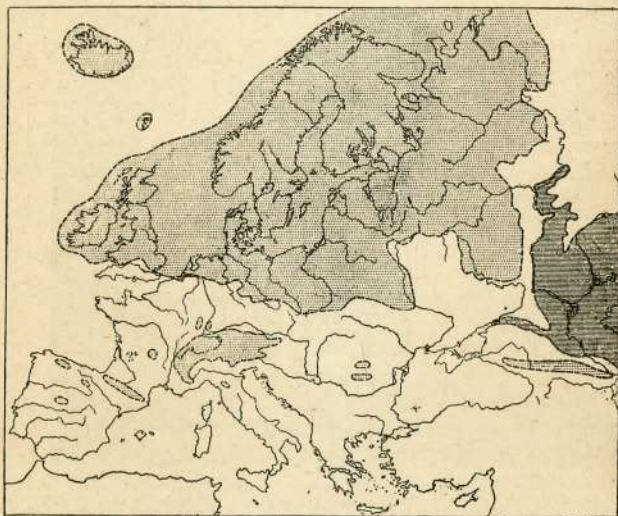
Fig. 37 — *Parte dell'Europa coperta dai ghiacci durante i periodi glaciali del quaternario* (aree punteggiate). — (Notare l'enorme placca glaciale che copriva il nord dell'Europa. In Italia, oltre i ghiacciai delle Alpi, esistevano anche piccoli ghiacciai apenninici, non segnati sulla cartina per la loro relativa esiguità).

In epoche geologiche passate i ghiacciai hanno talvolta assunto un grande sviluppo. — Nè vogliamo trascurar di dire che l'azione glaciale assume maggiore importanza geologica dal fatto, irrefutabilmente accertato, che in altre epoche della storia della terra, ed allo stesso inizio dell'êra attuale, i ghiacciai hanno as-

sunto su tutta la faccia del globo uno sviluppo senza confronto più grandioso di quello che ora non presentino.

Per limitarci alle nostre regioni, diremo che nell'ultima êra quasi tutti i ghiacciai delle Alpi scendevano sino in pianura, riempiendo come enormi bianche correnti per centinaia di chilometri le valli ed allargando enormi ventagli ghiacciati là dove ora verdeggiano i colli del Varesotto o della Brianza. Le colline moreniche d'Ivrea, di Gallarate, quelle poco a nord di Monza, quelle della Francia Corta, i semicerchi collineschi a sud del Garda, come pure i massi, spesso giganteschi, di rocce alpine, sparsi sulle Prealpi, noti col nome di *trovanti*, e collocati in luoghi dove nessuna corrente acquea ha potuto portarli, sono altrettanti testimoni di questa enorme espansione glaciale, contemporanea ai primi tempi dell'umanità, a cui si deve tanta parte del modellamento e della stessa bellezza delle nostre regioni (Fig. 37).

Le cause di questo grande sviluppo glaciale, che ormai si ritiene certamente essersi più volte ripetuto in epoca relativamente recente e forse anche in tempi molto antichi della storia della terra, non sono per anco note, e difficile è la scelta fra le numerosissime ipotesi messe innanzi dagli scienziati per risolvere la questione. Variazioni di composizione dell'aria atmosferica, sollevamenti orogenici o sprofondamenti marini, variazioni nelle condizioni atmosferiche della terra, furono e sono a volta a volta supposte e sostenute; ma sebbene l'argomento sia molto attraente e bello, noi non possiamo fermarvici, e dobbiamo accontentarci di ripetere che anche i fenomeni glaciali, quali si sono qui fuggevolmente accennati, rientrano nel quadro generale dei fenomeni geodinamici esterni, con effetti sensibilmente concordanti con quelli della circolazione delle acque e dell'atmosfera in generale.

OTTAVA LEZIONE

Il mare e la vita organica come agenti geologici. — Conclusione.

Le acque, altre volte più abbondanti, coprono anche ora gran parte della terra. — Le acque che sotto forma liquida si trovano sulla superficie della terra furono, assai probabilmente, in maggiore quantità nelle êre geologiche passate che non nei tempi attuali, perchè, se è vero che il nostro globo si raffredda progressivamente e la sua crosta rocciosa si ispessisce, le acque debbono penetrare sempre più profondamente entro di essa.

Ad ogni modo poi, alla superficie della terra la formazione di minerali idrati si può dire continua e continua quindi è la fissazione dell'acqua. Ma, anche in oggi, come ognun sa, la porzione di superficie terrestre ricoperta dalle acque maıine è senza confronto maggiore dell'area emersa, e, data la profondità media degli oceani, che si aggira intorno ai 4000 metri, si può dire che la massa d'acqua esistente sulla terra è veramente enorme e non da paragonarsi alla massa dei continenti tutti. Ben a ragione adunque gli oceanografi ritengono che appunto lo studio del mare debba porsi come uno dei cardini più fondamentali delle indagini geografiche e geologiche.

L'importanza geologica del mare. — Quale è l'importanza del mare nei riguardi della geodinamica e della geologia? Difficile è rispondere a questo quesito in poche parole, perchè troppo grande è la sua complessità. Ed anche in questo caso dobbiamo limitarci ad accennare brevemente a qualcuno dei punti più salienti della questione, senza pretendere di darne una trattazione completa.

L'effetto delle onde. — Ricordiamo innanzitutto, che, a somiglianza delle masse gasose dell'atmosfera, le acque dei mari sono in preda a numerosi e continui movimenti, sia orizzontali che verticali, sia profondi che superficiali.

Fig. 38 — *Arco naturale di Motsuscima (Giappone).*
(Esempio dell'azione erosiva delle onde marine).

Per quanto riguarda le modificazioni della faccia della terra hanno una importanza non trascurabile i moti superficiali, e specialmente il moto ondoso, sia che si tratti di onde di marea, sia che si tratti di onde di vento. Anche senza addentrarci nella difficile questione del moto delle onde

e de' suoi effetti, ognuno che abbia assistito sulle coste del mare al giungere di una potente mareggiata può di leggeri comprendere quale possa essere a lungo an-

Fig. 39 — *L'arco di Tasman (Australia).*
(Esempio dell'azione erosiva delle onde).

dare l'effetto meccanico delle onde che battono spesso con tanta violenza le coste. Non son pochi infatti i tratti costieri, e specialmente nei mari tempestosi, i quali si arretrano continuamente sotto l'azione erosiva e demolitrice delle onde (Figi 38 e 39). Il fenomeno si osserva generalmente sulle coste ripide e dirupate, ed anzi in queste

si può dire costante. Esempii notevoli di simile azione del mare si hanno anche nelle nostre regioni, ma classiche sono a questo proposito le coste della Bretagna, in cui l' arretramento davanti all'avanzarsi delle onde è rapido e imponente.

L'azione di deposito del mare. — Lungo le coste pianeggianti e nei seni rientranti fra promontorii dirupati, l'azione del mare è invece, di solito, di deposito. Il flutto corrente, le correnti radenti, asportano il materiale detritico che si forma per la demolizione dei capi rocciosi o che i fiumi trascinano in mare, e lo depondono là dove le coste si inarcano dolci e continue, e non oppongono all'azione dell' onda un ripido fianco frastagliato e dirupato, ma un fondo lentamente risalente verso terra. E' così che il mare d'ordinario si arretra in rispondenza delle coste pianeggianti, e nelle coste irregolarmente interrotte da capi e promontori tende a rettificare la linea della costa stessa, deponendo nelle rientranze ciò che ha eroso dalle sporgenze più brusche.

Ma ben piccola sarebbe l'importanza del mare se non si riducesse che a questa, alla quale abbiamo ora accennato. Il mare è il teatro dei più grandiosi fenomeni di sedimentazione e la sede delle più ampie manifestazioni della vita.

Nel mare si formano sedimenti. — In qualsivoglia punto dell'oceano noi esploriamo il suo fondo, sia in vicinanza delle coste, sia a migliaia di chilometri di distanza da ogni terra emersa, nelle acque sottili, come negli abissi più profondi, constatiamo quasi costantemente la presenza di spessi strati di melme finissime, le quali si stendono uniformi per estensioni sterminate, ora azzurrastre, ora verdognole, ora come nei più alti fondi rossigne. Solo ad immediata vicinanza delle coste il fondo del mare può essere roccioso ed accidentato; nel resto il suo fondo è regolarmente pianeggiante od a pendio dolcissimo, e quasi insensibilmente raggiunge, nei così detti pozzi oceanici, le massime profondità, che superano i 9500 metri.

Quale è l'origine dei sedimenti? — Donde vengono e di che son fatte queste melme di fondo? Per una parte, e specialmente lungo le zone costiere, il loro componente essenziale proviene dalle torbide che i fiumi portano senza posa in mare e risulta di materiali argillosi
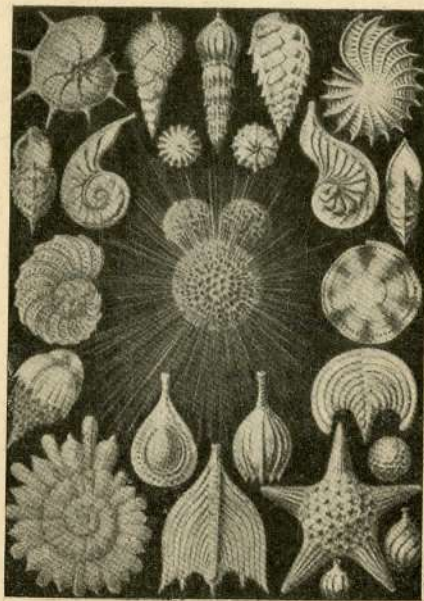
Fig. 40 — *Gusci di foraminiferi.*

finissimi e di sabbie estremamente minute: *terrigeni* sono infatti chiamati i sedimenti che hanno tale origine e composizione, e non sono in certo modo che la naturale continuazione dei sedimenti depositati dai corsi d'acqua nel loro tratto più basso. Ma in alto mare, a centinaia e centinaia di chilometri dalle coste, gli elementi detritici anche finissimi portati dai fiumi, non giungono che in quantità

minima; quivi il formarsi e l'accrescersi delle melme di fondo, necessariamente assai più lenti che verso le coste, sono dovuti principalmente all'accumularsi in quantità veramente sterminata di gusci calcarei o silicei di organismi viventi nelle acque del mare, e, solo subordinatamente,
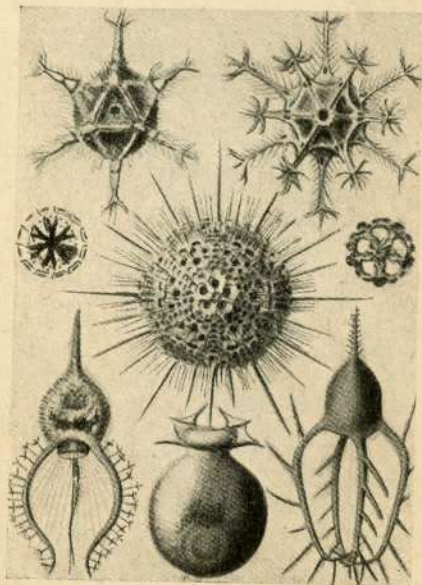
Fig. 41 — *Radiolari.*

al depositarsi del pulviscolo terrestre o meteorico portato dall' atmosfera.

Organismi microscopici, come foraminiferi e radiolari fra gli animali (Fig. 40 e 41), e diatomee fra le piante, forniti di esilissimi e spesso elegantissimi gusci, vivono si può dire dovunque negli strati superficiali del mare: quando essi muoiono, il loro guscio cade lentamente sul fondo, insieme ai gusci ed alle parti solide dell' infinita serie di orga-

nismi che si trovano nell'oceano a formare le faune galleggianti e le faune abissali. E dovunque si esplori il fondo marino, le draghe ci portano a giorno di queste fanghiglie essenzialmente formate da avanzi organici.

Le melme di fondo, col volger del tempo si trasformano in istrati compatti di rocce. — Che avviene dei sedimenti che più o meno rapidamente si accumulano sul fondo di tutti i mari? Col tempo il loro spessore si accresce tanto, che gli strati più profondi, enormemente compressi, si cementano, si rendono compatti, acquistano consistenza di pietra, e formano le principalissima categoria di quelle rocce, che per la origine loro diconsi appunto *sedimentari* e pel modo stesso di lor formazione assumono l' aspetto di rocce stratificate. Non altra origine hanno i calcari e le marne, a strati spesso fitti e regolari, e recanti talvolta ancor nella loro compagine le impronte dei gusci e delle conchiglie che tanta parte hanno avuto nella lor formazione, che noi vediamo sollevati e contorti a costituire le nostre montagne. E da ciò possiamo comprendere l'importanza geologica veramente cardinale del mare come formatore dei sedimenti. Infatti questi, come senza posa si formano in oggi, si son continuamente formati in tutti i mari di tutte le epoche della storia della terra, e mentre entrano a costituire parte essenziale dei materiali costruttivi della crosta del globo, ci conservano, spesso con somma perfezione, le tracce e il ricordo degli organismi marini, e non di rado anche terrestri, vissuti in ogni epoca della terra. Che se poi pensiamo per un istante alla provenienza dei materiali calcarei e silicei di cui i detti organismi si son serviti e si servono per costruire i loro gusci, veniamo a rilevare un fatto di non minore importanza per quanto riguarda i così detti cicli geologici. Infatti questi materiali che gli organismi trovano sempre a propria disposizione nelle acque marine, allo stato di soluzione, vi sono portati continuamente dai fiumi, le cui acque dolci contengono costantemente, oltre ai materiali detritici sopra ricordati, anche una lunga serie di sostanze disciolte, che

esse hanno asportato dalle rocce e dal terreno durante il loro percorso superficiale o profondo, e fra le quali la silice e specie i sali calcarei sono in prima linea.

Veniamo quindi a svelare anche qui una faccia di quei mirabili cicli naturali, ai quali abbiamo già antecedentemente fatto cenno, e per i quali agenti interni ed agenti esterni si collegano e nel tempo istesso si contrastano.

La lotta fra gli agenti esterni e gli agenti interni. — Possiamo infatti oramai comprendere il grandioso gioco degli agenti dinamici, la cui lotta ed il cui alterno prevalere riassumono in sè tutta la storia della terra. Da un lato gli agenti interni tendono ad alterare la figura del nostro pianeta, sollevandone alcune plaghe e sprofondandone altre, rompendone la compagine e rimandando verso la superfice masse enormi di materiali profondi; dall'altro gli agenti esterni, lentamente, pazientemente, corrodono, limano, distruggono i rilievi e le asperità, portando in basso, sciolti o frantumati e macinati, i materiali che quei rilievi formano e costituiscono. Ma questi grandiosi spostamenti di masse, lenti e continui, che dai continenti avvengono verso le depressioni oceaniche, non possono rimaner senza effetto; e noi vediamo che, come abbiam più sopra ricordato, il sovraccaricarsi delle aree di depressione, mentre vieppiù le approfonda, produce per natural reazione lo scorrere, il piegarsi, il rialzarsi di masse da queste verso le plaghe continentali, che all'incontro si alleggeriscono.

Tale il filo conduttore che deve guidarci in mezzo alla enorme complessità dei fenomeni geologici, che solo per alcuni lati hanno perduto il carattere misterioso che altra volta avevano e ci appaiono ormai chiari.

L'azione geologica degli organismi non è trascurabile. — Ma la stessa importanza, or ora rilevata, degli organismi nella formazione dei sedimenti marini, ci conduce a lumeggiar brevemente, nei riguardi sempre della geologia e delle origini della forma e struttura attuali della terra, l'azione degli esseri viventi, animali e vegetali, che, se

nei mari presentano il loro massimo sviluppo, non sono agenti trascurabili di modificazioni superficiali neppure sulle aree emerse, dove anzi toccano il loro massimo di eccellenza organica.

La vita è nata nel mare. — La vita organica si è sviluppata dapprima, in epoca geologicamente antichissima, assai probabilmente entro il mare, e forme marine sono infatti le più remote di cui si abbia conoscenza e si trovino avanzi negli strati della crosta terrestre. Intorno alla questione tanto ardua e dibattuta del modo di comparsa della vita sulla terra, la geologia nulla ci può dire; una sola cosa appare certa: che la vita non è sempre esistita sul nostro pianeta, perchè le sue condizioni primitive sono inconciliabili con tutto quanto noi sappiamo sui caratteri degli esseri organizzati; e che di conseguenza la vita in un dato momento è comparsa ed ha rapidamente invaso tutta la superficie acquea del globo, con una uniformità di distribuzione che attesta una uniformità pressochè assoluta nelle condizioni climatiche delle varie zone del globo, dovuta forse sia a cause intrinseche della terra sia ad un maggior volume del globo solare.

Le prime forme organiche furono molto semplici, ma ci sono ignote. — Se le idee in oggi accettate dalla grande maggioranza degli scienziati sono vere, le prime forme organiche apparse sulla terra, tanto nel caso che si siano generate sulla terra stessa, come in quello, forse meno probabile, che siano derivate da germi su di essa caduti dagli spazî siderei, debbono essere state molto semplici ed uniformi. Ma è bene notare che queste ipotetiche prime forme di esseri viventi non sono affatto note alla geologia, nè forse lo potrebbero, data la natura dei processi di conservazione delle tracce organiche ai quali abbiamo sopra accennato, ed invece i più antichi organismi di cui noi ora abbiamo notizia ed i cui avanzi si sian trovati ben riconoscibili entro gli strati sedimentari della crosta terrestre sono già dotati di un'organizzazione relativamente molto alta e complessa,

Solo più tardi la vita invase le terre emerse. — La vita si è, con ogni probabilità, a lungo conservata entro le acque marine, ma venne un momento in cui divenne possibile la vita anche sulle terre emerse, ed allora comparvero sulla terra quelle forme di vegetali e di animali, che, in grazia forse della maggiore variabilità degli ambienti subaerei in confronto dei sottomarini, assunsero dal volger dei secoli la massima complicazione ed eccellenza organica.

Il mare fu sempre sede dei fenomeni organici più grandiosi. — Ma, come sopra dicemmo, il più ampio teatro alle manifestazioni organiche rimase sempre il mare, e fra queste rimasero sempre fondamentalmente importanti quelle alle quali abbiamo ora accennato e dalle quali dipendono in particolar modo i fenomeni di sedimentazione organogena.

A piccoli organismi marini, e bassi nella serie animale, spettano pure importanti azioni costruttive di genere poco diverso, limitate ora ai mari della zona calda, ma altra volta diffuse su quasi tutta la superficie della terra. Vogliamo alludere alle costruzioni coralline. Come ognun sa, i coralli e le madrepore sono piccoli animali, appartenenti al tipo dei celenterati, i quali vivono in colonie numerosissime entro acque calde e poco profonde, ed hanno la proprietà di sottrarre al mare notevolissime quantità di sali in esso disciolti, specialmente calcarei, per fabbricarsi una impalcatura del corpo. In condizioni opportune, i polipai costruiti da questi animali, e risultanti dalla riunione in numero sterminato degli scheletrini calcarei ora ricordati e saldantisi l'un sull'altro, possono assumere tale uno sviluppo da diventare costruzioni geologicamente importanti.

Costruzioni coralline. — Nei mari attuali, e specialmente nel mar Rosso, nell'Oceano Indiano e nel Pacifico (Fig. 42), si contano a centinaia le isole e le barriere coralline, dovute al rigoglioso sviluppo di quei piccoli e delicati organismi, ed alcune regioni ne rice-

vono invero una impronta particolarissima. Sono dunque intere terre che sorgono sotto i nostri occhi, per opera di esseri viventi, a modificare la configurazione della superficie del globo. E se noi esploriamo gli strati della crosta terrestre, vi troviamo non di rado delle ingenti masse rocciose, che son dovute con ogni certezza all'azione di consimili organismi vissuti in epoche geologiche

Fig. 42 — *Costruzioni coralline affioranti sul mare nell'arcipelago di Samoa.*

passate; non diversa origine hanno infatti le masse dolomitiche, che tanta parte rappresentano dei materiali costituenti le nostre montagne e che imprimono ad intere zone delle Alpi il loro carattere predominante.

Anche altri organismi formano importanti costruzioni. — Cumuli di gusci di molluschi o di scheletri di echinodermi formano pure banchi calcarei non rari nella serie degli strati e recanti spesso le più vaghe impronte fossili. Nè a ciò si limita l'importanza degli organismi marini

come agenti geologici, poichè, per non dir d'altro, ad essi in genere, ed ispecie a pesci sepolti in particolari condizioni entro le melme di fondo, si attribuisce l'origine di parte almeno degli idrocarburi naturali ed in prima linea dei petrolî, che sì notevole importanza hanno anche per la vita pratica.

Tra le formazioni terrestri, dovute dunque all'azione di organismi viventi sulle terre emerse, sceglieremo, di molti, un solo esempio: quello dei giacimenti di carbon fossile.

I carboni fossili. — Quando i resti di vegetali rimangono esposti all'aria, sono ben presto distrutti dai processi ordinarî di putrefazione, che dànno luogo essenzialmente alla formazione di composti volatili o solubili. Ma se questi resti vengano invece sepolti entro la terra o sotto uno strato di acqua, e siano in qualsiasi modo sottratti all'azione dell'aria, vediamo che in essi si sviluppano, sotto l'influenza di speciali bacterî, particolari processi d'alterazione, i quali dànno luogo al progressivo isolarsi del carbonio, base, come ognun sa, della composizione di ogni organismo vivente. Tali processi di alterazione diconsi appunto di carbonizzazione, e richiedono un tempo assai lungo per raggiungere il loro grado più elevato, con completa liberazione del carbonio di un vegetale.

E' questa la ragione perchè solo in strati molto antichi della crosta terrestre noi troviamo combustibili fossili interamente carbonizzati, derivanti naturalmente da vegetali sepolti in condizioni favorevoli in epoche assai antiche della storia geologica.

I carboni fossili si formarono specialmente nel periodo detto carbonifero. — Se però si può affermare che in tutti i tempi si son verificate le condizioni atte alla carbonizzazione naturale dei vegetali, tantochè quasi dovunque nella serie degli strati sedimentari terrestri si trovano combustibili fossili, in un periodo solo della storia della terra la quantità dei vegetali esistenti e

poi trasformati in carbone fu talmente grande da dar origine a depositi di importanza geologica veramente considerevole; e tale periodo prese a buon diritto il nome di *carbonifero* (Fig. 43). Per quale ragione in quel lontanissimo tempo della nostra storia i vegetali presero tale uno sviluppo da formar poi serie di strati carboniosi spesse centinaia di metri ed estese non di rado per centinaia di chilometri, così che noi ne caviamo ora ogni anno più di un miliardo di tonnellate e siamo ancor ben lungi dall'esaurirle? Poi che, come ognun sa, i vegetali
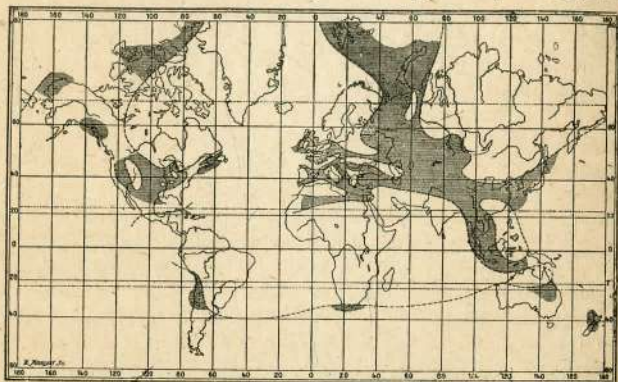
Fig. 43 — *Distribuzione probabile delle terre e dei mari nel periodo carbonifero.* (I mari son segnati in scuro. - Notare il grande continente americano-africano-australiano).

traggono il loro carbonio essenzialmente dalla anidride carbonica dell'aria, e lo fissano entro le loro cellule quando queste contengono quella importantissima sostanza verde ch'è la clorofilla, e quando c'è calore e, soprattutto, luce solare, dobbiamo supporre che nel periodo carbonifero il contenuto di anidride carbonica dell'aria fosse singolarmente elevato e la luce e il calore solari, come ogni altra condizione climatica, fossero molto favorevoli alla vegetazione. Ma poco di più si può dire, specie in riguardo allo stabilirsi appunto di tali condizioni. Certo è che mai più, dopo il periodo carbonifero, si poterono formare scorte

altrettanto importanti di energia solare immagazzinata sotto l'aspetto di combustibile, quantunque le serie vegetali ad organizzazione più elevata abbiano raggiunto il loro maggiore sviluppo molto più tardi, e precisamente nell'êra, geologicamente recente, chiamata dai geologi terziaria.

L'azione degli organismi è da ascriversi alle azioni esogene. — Nulla più diremo degli organismi come agenti geolologici, quantunque parecchi altri esempî oltre questo che abbiamo ricordato si potrebbero citare, in cui l'azione degli esseri viventi assume una notevole importanza nei riguardi specialmente della formazione depositi rocciosi o minerali, della alterazione dei materiali costituenti la crosta terrestre, fortemente accelerata da speciali bacterî, e delle modificazioni che l'uomo stesso può apportare nello svolgersi dei processi naturali; ma la trattazione di questi argomenti ci condurrebbe troppo lontano. Ci limiteremo a far rilevare come l'azione degli organismi si possa con ragione ascrivere alla categoria delle azioni esogene, in quanto la vita organica sulla terra è resa possibile, oltrechè dalla natura e composizione della idrosfera, dell'atmosfera e della stessa litosfera, dal calore e dalla luce solari, che si possono anzi chiamare, e specialmente quest'ultima, le vere cause essenziali dello sviluppo del mondo vegetale e animale.

Luce e calori solari, condizioni di vita. — Infatti, come abbiamo fugacemente enunciato poco più indietro, alla luce solare ed a' suoi effetti chimici si deve la formazione nei vegetali della sostanza verde, detta clorofilla, la cui presenza è, con quella della luce, indispensabile alla vita autonoma dei vegetali stessi. Solo nelle piante verdi, e quando c'è luce, avviene il misterioso fenomeno di assimilazione del carbonio dell'aria, mediante il quale le sostanze minerali che i vegetali assorbono dal terreno vengono trasformate in sostanze organiche. E queste sostanze organiche, indispensabili alla vita ed allo sviluppo delle piante, non sono meno necessarie alla vita degli animali, i quali tutti, nessuno eccettuato, hanno

assoluto bisogno di esse per vivere, e non hanno altra via per procurarsele che ricavarle dai vegetali, non essendo atti a fabbricarle da sè, nel loro interno, mediante sostanze minerali. Ne viene dunque che, non potendo gli animali esistere senza i vegetali, loro naturale e indispensabile nutrimento, e non potendo i vegetali svilupparsi senza luce solare, questa è in ultima analisi la causa essenziale di ogni manifestazione organica presente, e passata sulla terra, ed a buon diritto si pone, come abbiam fatto noi, tra le cause prime di trasformazione della superficie del globo, e non certo fra quelle di minore importanza.

La cronologia geologica si basa principalmente sui fossili. — E, prima di terminare, non possiamo lasciar di dire qualche parola, sebbene ciò esca alquanto dal disegno che ci siamo imposti, sopra altri lati dai quali si deve considerare l'importanza geologica degli organismi. Infatti, come ognun sa, gli esseri viventi, dal momento in cui sono comparsi sulla terra, non solo hanno potentemente contribuito insieme con gli altri agenti esterni alla evoluzione delle forme superficiali di essa, ma abbandonando i loro avanzi in seno ai sedimenti ci hanno fornito i documenti forse più validi che noi possediamo per stabilire la cronologia dei sedimenti stessi, ciò che torna come dire la cronologia di grandissima parte delle masse rocciose costituenti la superficie terrestre. Le impronte organiche che noi troviamo dovunque in seno alle rocce, note col nome di *fossili*, sono a buon diritto chiamate *medaglie delle creazione*, ed è lontano ormai il tempo in cui le conchiglie fossili dei nostri monti si credevano forme casuali delle rocce, o scherzi di natura, o, quanto meno, avanzi lasciati dal diluvio universale. Ora nessuno ignora che il diluvio universale fu tanto poco universale da non uscire dai confini della Mesopotamia e dall'assumere l'aspetto di un nubifragio, accompagnato forse da un maremoto, e che i fossili sono veri avanzi di organismi vissuti in epoche geologiche passate; da più di un secolo si sa che quegli organismi furono in gran parte

diversi da quelli attualmente viventi e che ciascuna epoca della storia della terra presentò delle forme organiche proprie, differenti dalle antecedenti come dalle susseguenti, le quali servono a caratterizzarla; e da più di un mezzo secolo si sa che queste forme organiche, formanti una serie regolarmente progressiva per complicazione e perfezione organica, sono legate da probabili relazioni di parentela, tanto che le più recenti deriverebbero dalle più antiche per via di graduali trasformazioni.

Ognuno intende pertanto come la presenza di date forme animali o vegetali in una massa rocciosa possa servire a determinarne l'età relativa e ad inquadrarla nella serie cronologica che si è venuta mano mano stabilendo sulle osservazioni fatte dai geologi in tutte le parti del mondo.

I fossili servono a ricostruire la storia della terra. — Nè basta questo: gli stessi caratteri che presentano gli organismi vissuti in una data epoca geologica e la distribuzione di questi, possono fornirci preziosi indizî intorno alle condizioni geografiche e climatiche che in quell'epoca si son verificate sui varî punti della superficie terrestre. Ed è per questa via principalmente che noi possiamo aver un'idea della successione dei climi, partendo dai climi caldi ed uniformi delle più lontane epoche geologiche e venendo ai climi temperati o freddi e molto varî delle epoche più vicino a noi; come possiamo trarre utili conseguenze in riguardo alla distribuzione delle terre e dei mari nei tempi passati ed in riguardo alla evoluzione progressiva di essi. (Fig. 44 e 45), Infatti, come le piante carbonifere uniformemente distribuite sotto tutte le latitudini ci provano una perfetta uniformità di clima in tutte le zone, l'esistenza di forme animali affini, per esempio, in India e nel Madagascar ci prova l'antica esistenza di una terra che univa queste due regioni attualmente separate da così largo spazio di mare.

Riassunto dell'opera. — Ma è ormai tempo di riassumere e di concludere. Noi siamo partiti dalla supposta origine del sistema solare, del quale la terra fa parte; abbiamo accennato alla fase stellare del nostro pianeta ed

ai varî stadî di questa, caratterizzati dal progressivo raffreddamento della massa che lo costituisce, e dalla conseguente diminuzione del suo splendore.

Abbiamo anche visto che durante questi primissimi tempi della storia del nostro pianeta si è, con ogni probabilità, delineata quella caratteristica separazione in zone di diversa composizione e densità, dalla quale piglia poi una

Fig. 44 — *L'Europa a metà dell'êra terziaria.* (Esempio di ricostruzione degli aspetti presentati dall' Europa in due periodi successivi).

speciale impronta tutto lo svolgimento dei fenomeni posteriori. Si è difatti alla esistenza di un nucleo centrale metallico e caldissimo, ravvolto da una crosta solida pietrosa, ed al costituirsi di una idrosfera, che si deve in massima parte il contrasto fra i così detti agenti endogeni e gli agenti esogeni della geodinamica, nelle cui vicende si riassume tutta la storia geologica della terra. Al nucleo centrale, al suo contrarsi per progressivo raf-

freddamento risalgono fondamentalmente tutti i fenomeni trasformatori della faccia della terra di origine interna nelle loro varie manifestazioni; mentre la esistenza dell'atmosfera e della sfera acquea rende possibile all'energia, che in quantità sterminata il sole invia sulla terra, di produrre tutti gli effetti esterni da noi sommariamente descritti. Ed abbiamo pure fuggevolmente notato come i feno-

Fig. 45 — *L'Europa alla fine dell'êra terziaria.* (Esempio di ricostruzione degli aspetti presentati dall'Europa in due periodi successivi).

meni interni conducano tutti, più o meno direttamente, alla formazione di ineguaglianze e dislivelli sulla superficie della terra, sia che si considerino gli sprofondamenti ed i sollevamenti relativi di masse, sia che si consideri il fratturarsi di esse e la conseguente salita dei magmi eruttivi dal profondo; mentre gli agenti esterni, alterando ed erodendo le rocce, trasportandone i frammenti od i componenti disciolti, deponendoli infine nelle depressioni,

tendono continuamente a demolire i rilievi, a distruggere le asperità, ed esercitano un'azione eminentemente egua-gliatrice sulla faccia della terra. Abbiamo ancora breve-mente accennato al potente contributo che a questa azione portano gli organismi, e non abbiamo trascurato infine di far rilevare come gli stessi spostamenti di masse, operati soprattutto dagli agenti esterni, debbano necessariamente provocare una reazione elastica nella terra, con scorri-menti dalle aree che vengono a sovraccaricarsi, ossia dalle aree oceaniche di sedimentazione, verso le aree alleggerite, ossia verso le aree continentali che sono continuamente erose dall'aria e dall'acqua. In questo modo l'azione degli agenti esogeni viene, secondo le moderne vedute, a rial-lacciarsi in perpetuo ciclo con quella degli agenti endogeni.

La storia passata della terra si riassume, in ultima ana-lisi, nel ritmo di questi cicli, e narrando il sorgere di antiche catene montuose e la loro distruzione, seguita tosto dal formarsi di nuovi rilievi, anch'essi destinati a scomparire, non facciamo che mettere in evidenza un av-vicendarsi di azioni e reazioni, in cui si esplica questo come ogni altro fenomeno naturale.

Quanto è vecchia le terra? — Quanto tempo hanno abbracciato questi cicli? Quanto durò finora la lotta fra gli agenti interni e gli esterni? Rispondere a questa domanda è quasi come assegnare una età alla terra: quesito estremamente difficile! Non lasceremo di dire però che gli scienziati vi si sono per varie vie cimentati, e che sono giunti a risultati non troppo dissimili, almeno per ordine di grandezza, sia che abbiano pigliato per base il tempo di raffreddamento della terra, o quello delle sedimentazioni, o quello infine della trasmutazione di elementi: alla terra si è infatti assegnata un'età che va dai 200 ai 2000 milioni di anni, con una media pro-babile di 500-600 milioni.

E neppure vogliamo lasciar di richiamare che i nume-rosi cicli geologici che si sono susseguiti in questo enorme lasso di tempo, se hanno presentato forse sempre le stesse fasi caratteristiche, si son però svolti sopra una scena

ch' è andata a grado a grado mutandosi, tanto che l' intensità del loro ritmo si è probabilmente attenuata. E ciò principalmente in causa sia della dispersione e conseguente diminuzione dell'energia immagazzinata nel nostro pianeta, sia di un'analoga, per quanto assai più lenta, diminuzione dell' energia solare, fonte d' ogni vita sulla terra.

Verrà forse un giorno, ora certo molto lontano, in cui si giungerà a conoscere con sufficiente sicurezza la velocità di questa evoluzione della terra e del sole, ed in cui tutti i fatti geologici potranno essere misurati nel loro giusto valore: avremo allora in mano i dati per determinare esattamente l' età della terra, e la precisa conoscenza del passato ci permetterà di fare previsioni attendibili per l' avvenire. In oggi, a questo riguardo, nulla possiamo fare più che delle semplici ipotesi, le quali, se per opera di geniali indagatori possono qualche volta assumere un' apparenza di seria fondatezza, non cessano per questo di essere le più arrischiate che l' uomo abbia mai formulato. Ma la esposizione di tali ipotesi, per quanto seducente, esce dal compito che ci siamo imposti, di trattar dell' origine della terra e della sua configurazione superficiale, e potrebbe formar materia di un nuovo libretto.

INDICAZIONI BIBLIOGRAFICHE

Chi volesse attingere ad opere di maggior mole notizie più estese intorno agli argomenti principali esposti in questo libretto, potrebbe utilmente ricorrere ai seguenti trattati:

« Compendio di Geologia » di *A. Issel.*

« Trattato di Geologia, con particolare riguardo alla geologia d'Italia » di *C. F. Parona.*

« La storia della Terra » di *M. Neumayr.*

« Il divenire dei mondi » di *S. Arrhenius.*

Le condizioni geologiche e corografiche dell'Italia sono egregiamente esposte nell'opera:

« La penisola italiana » di *Th. Fischer.*

Si leggerà sempre con profitto, specie per lo spirito naturalistico che lo anima:

« Il bel paese » di *A. Stoppani.*

Come pure:

« Le bellezze della Svizzera » di *J. Lubbock.*

« La cosmografia chimica » di *E. Baur.*

E qualche trattatello d'indole scolastica, come quelli, usati nell'insegnamento secondario, dell'Enriques, del Tuccimei, dello Squinabol, ecc.

INDICE

LEZIONE I. — *Introduzione. (1ª parte).*

Il sistema solare, le stelle e le nebulose. (2ª parte).

LEZIONE II. — *L'origine del nostro sistema solare.*

LEZIONE. III. — *La solidificazione graduale della terra.*

LEZIONE IV. — *La storia geologica della terra.*

LEZIONE V. — *I movimenti della crosta terrestre.*

LEZIONE VI. — *I fenomeni eruttivi.*

LEZIONE VII. — *L'aria, le acque circostanti, i ghiacciai come trasformatori della faccia della terra.*

LEZIONE VIII. — *Il mare e la vita organica come agenti geologici — Conclusione.*

BIBLIOGRAFIA

di alcuni volumetti usciti in questa " collana ,, di volgarizzazione scientifica .. ..

BERTARELLI prof. Ernesto. — **Igiene sociale.** — *L. 0.90, legato.*

Primo volume della « Collezione rossa » di volgarizzazione scientifica, dovuti all'iniziativa disinteressata della Federazione Ital. delle Bibl. Popol. e della Università Popolare Milanese. Nessuno meglio e con maggior comunicativa del B. poteva spiegare al popolo l'origine, i pericoli e i rimedi dei contagi sociali, di cui — purtroppo! — l'Italia non è ancora immune. Dal volume breve e limpido emana una forza di persuasione e di suggestione, che si convertirà in incalcolabili benefici per la pubblica salute, se il libro — di cui si è esaurita una prima copiosa edizione — continuerà a diffondersi largamente. Esso, come tutti i volumi di questa collezione, può offrire una traccia mirabile per lo svolgimento di un efficacissimo corso d'insegnamento.

BONETTI dott. Paolo. — **Macchine e salari.** — *L. 0.90, legato.*

Spiega con ordine e chiarezza gli effetti della introduzione delle macchine nella produzione e i contraccolpi che ne risentono i salari dei lavoratori, riuscendo a convincere che la macchina non è, in definitiva, quella terribile e temibile nemica del lavoro manuale che da molti si crede, e che, di fronte alle crisi transitorie da essa prodotte, l'aumento generale della ricchezza, che essa genera, compensa alla lunga e in abbondanz i sacrifici sostenuti dagli operai nella prima ora

COLETTI prof. Francesco. — **Il rincaro dei viveri.** — *L. 0.90. legato.*

Il libro non ha bisogno di lodi, dopo quelle che gli tributò l'Einaudi sulla « Riforma Sociale ». Il caro della vita, che a molti, a troppi, sembra come un misterioso destino sociale gravante ognor più sulla modesta economia famigliare della gente umile e media, e, quindi, è sopportato come si sopporta una oscura fatalità, contro la quale sia inutile reagire, è qui analizzato nelle sue cause, nelle sue vicende e ne' suoi rimedi, inseguito in mezzo al complicato groviglio dei fatti economici, denudato da gli elementi che lo sottraggono alla vista dei profani, e messo al cimento con la reazione che su di esso può esercitare il consumatore isolato e associato, ma cosciente sempre delle leggi regolatrici della produzione e degli scambi. Il volumetto appartiene alla serie « Questioni di attualità », ma bisogna convenire che la materia di cui si occupa — il rincaro della vita — pur troppo è difficile che sia per passar di moda troppo presto.

MICHIELI prof. Augusto. — **L'America del Sud.** — *L. 1.50, illustrato e legato.*

L'A. narra in questo volumetto la storia della scoperta, delle prime esplorazioni e della rovinosa dominazione spagnuola in quelle plaghe, ov'erano segni di mirabili civiltà estinte; segue le vicende delle diverse contrade fino ai nostri giorni, ne studia la struttura fisica, il governo, la economia, i costumi della popolazione, i progressi degli ultimi anni, e infine si indugia a considerarne le condizioni in rapporto al fenomeno della emigrazione italiana che là si dirige

Libro di mirabile chiarezza, sommamente utile ad avvicinare al popolo una materia di tanto interesse per tutti.

GOBBI prof. Ulisse. - **Elementi di Economia Politica.** - *L. 0.90, legato*

L'illustre economista ha inteso, con questo volumetto, iniziare i lettori alla conoscenza dei problemi relativi alla produzione, alla distribuzione della ricchezza e a tutto quell'insieme di fatti e di rapporti economici, sui quali si fonda la vita delle nazioni Il danaro e gli scambi, il capitale e il lavoro, il prodotto e l'accumulazione, il salario e il profitto, l'azienda privata e la pubblica, tutte le intime leggi che governano il mondo economico con lo stesso rigore col quale altre leggi presiedono alla vita degli organismi fsici, sono qui rivelate con sobrietà e lucidezza degne de' più noti volgarizzatori inglesi e francesi. Nelle moderne democrazie, in cui ogni individuo esercita ormai una parte del potere pubblico, lo studio dell'Economia politica deve esser considerato essenziale alla formazione del cittadino; e per tanto merita lode incondizionata questo svelto e arguto libretto di U. Gobbi. che dell'economia politica ha saputo far materia di coltura popolare.

TAJANI ing. prof Filippo. — **Le Ferrovie.** — *L. 0.90, legato.*

L'A., docente al Politecnico di Milano, ha narrato in questo volumetto, col più semplice e affascinante linguaggio, la storia della locomozione ferroviaria, risalendo ai primi tentativi e seguendone i meravigliosi progressi; ha spiegato come è costruita e come funzioni la macchina; ha condotto i lettori attoniti attraverso quel vario e vasto insieme di cose, di forze e di ordinamenti, che è per i paesi civili quel che la circolazione del sangue è per i corpi vivi. Singolare è il modo con cui questo uomo di scienza, abituato a cimentarsi con gli ardui problemi della tecnica, riesce a insegnare tante cose dilettando.

Il libro si ebbe le più alte lodi in un discorso pubblico dell'on. Luzzatti.

CALZECCHI prof. Temistocle. — **I liquidi e i gas.** — *L. 1.50, illustrato e legato*

E' illustrato da 90 figure, ciascuna delle quali aiuta a spiegar elementarmente e praticamente un fenomeno o una legge fisica dei liquidi e dei gas. La quasi prodigiosa chiarezza e semplicità con cui la materia vi è svolta, rende il libro accessibile anche a i più incolti e la relativa ampiezza, con la quale vi è trattata questa parte interessantissima della fisica, fa del volume un ausilio prezioso ai troppo astrusi testi scolastici. Ogni dimostrazione è ottenuta con un esperimento minutamente descritto; per cui sembra di studiare non leggendo parole stampate, ma assistendo a una serie di interessantissime esperienze di gabinetto, accompagnate dalla viva voce del maestro.

SUPINO prof. ing. Giorgio. — **Motori a combustione interna.** — *L. 1.50, illustrato e legato.*

Anche questo volume appartiene alla « Collana rossa di volgarizzazione scientifica: il primo tentativo serio fatto in Italia, con la collaborazione di uomini veramente insigni nelle diverse discipline che devono spiegare al popolo. Il Supino, professore al Politecnico di Milano, con questo volumetto opportunamente illustrato, si è proposto ed è riuscito a svelare anche a un profano il delicato mistero di quei complicati congegni, che impropriamente si dicono motori a scoppio e che in un minimo di volume e di peso, alimentandosi delle emanazioni gassose di combustibili per lo più liquidi, danno impulso e moto ai nuovissimi mezzi di locomozione, come l'automobile e l'areoplano. Veramente mirabile l'arte con cui chiunque legga è condotto a darsi ragione di ogni minimo particolare di questi meccanismi e della funzione utile che ciascuno compie nell'economia dell'insieme.

BARBAGELATA ing. prof. Angelo. — **L'Illuminazione.** — *L. 0.90, illustrato e legato.*

Quando camminiamo di notte, tranquilli e sicuri, sotto il diffuso chiarore delle lampade elettriche, che illuminano le vie della città, non pensiamo alla lunga e lenta vicenda di scoperte scientifiche, di esperienze e di lotte, e traverso le quali, dalla luce rossastra e fumosa delle prime torcie, si è giunti

alla bianca e riposata luce dell'elettricità. Leggendo questo volumetto, scritto con limpida vena da un tecnico che rivela le qualità di un volgarizzatore di razza, l'illuminazione e le sue fasi successive, la sua tecnica e la sua economia ci si spiegano e si fissano nello schermo della memoria con tale evidente chiarezza, che maggiore non si potrebbe desiderare. Può leggerlo con eguale utilità chiunque non voglia vivere, ignorandoli, in mezzo a cose e a congegni essenziali alla vita, e chi deve iniziarsi all'esercizio di una specifica attività professionale.

MONDOLFO prof. UGO GUIDO. — **La Rivoluzione Francese.** — *L. 1.50, illustrato e legato.*

E' un vero gioiello, accuratissimo nella sostanza e nella veste esteriore, abbondantemente illustrato colle scene culminanti della Rivoluzione e coi ritratti de' suoi più grandi protagonisti, riprodotti da immagini del tempo.

La Rivoluzione Francese di U. G. Mondolfo è di gran lunga la più ordinata, la più chiara, completa e organica — nella sua nervosa brevità — esposizione di fatti e di idee-forze che determinarono e attuarono il più grande rivolgimento subìto dalla storia degli uomini. Francamente, ripensando ai molti riassunti che vanno in giro per l'Italia con la pretesa di chiarire al popolo le ragioni e gli eventi della Rivoluzione, ne vediamo al confronto tutta la insufficienza. Nel libro del Mondolfo, pur così piccolo di mole, non v'è soltanto l'ordinata narrazione dei fatti essenziali; ma gli intimi nessi vi sono còlti e posti nella debita luce, e i motivi profondi sono interpretati con acutezza e rigore logico. Il fattore economico della Rivoluzione non è mai perduto di vista: non soverchia gli elementi personali e ideali della tragedia, ma li integra e li illumina; e tutta l'esposizione ne acquista una vivace forza persuasiva, che fa esclamare: Ora capisco; ora vedo come e perchè i fatti si svolsero così e non altrimenti!

Il libro del Mondolfo va oltre lo scopo modesto della collana a cui appartiene, pur rimanendo opera di semplice, piana, elementare volgarizzazione. Nulla lo storico ha sacrificato del suo pensiero per rendersi accessibile ai lettori di scarsa cultura; eppure è riuscito di una chiarezza cristallina e di una semplicità suadente, in cui non potrebbe smarrirsi neppure la mentalità d'un fanciullo.

Perciò specialmente il piccolo libro di U. G. Mondolfo è destinato a una vera e duratura popolarità.

GRAZIANI prof. AUGUSTO. — **Le entrate e le spese dello Stato.** — *L. 0.90, legato.*

Vi sono persone le quali, pur impancandosi a giudicare di politica finanziaria, di imposte, di debito pubblico, di conversione della rendita, di dazi doganali, di riforma tributaria in un senso o nell'altro, a seconda del giornale che leggono, ignorano però tutto di quel complicato meccanismo aspirante e premente che è il bilancio dello Stato; la distribuzione dei pesi e dei benefici che ne derivano; gli organi per mezzo dei quali esercita la sua funzione; i principi in base ai quali si commisurano gli oneri dei singoli; i doveri, i diritti e le guarentigie dei contribuenti. Non è a dire quanto quest'ignoranza, più diffusa che non si creda, nuoccia individualmente e socialmente. Il cittadino, pur avendo diritto di voto, non avrà discernimento alcuno per esercitarlo con criterio e sarà socialmente un'entità passiva.

Questo libro del Graziani, uno de' più autorevoli fra gli scrittori italiani di Scienza delle finanze, ha appunto lo scopo di orientare il popolo nella selva intricata della finanza di Stato e dargli coscienza della parte che esso vi rappresenta come contribuente e come cittadino interessato al buon andamento dell'azienda sociale

RICCHIERI prof. GIUSEPPE. — **La Libia.** — *L. 1.50. Con illustrazioni e due tavole a colori, legato.*

Comunque si giudichi la nostra ultima impresa coloniale, la Libia è ormai

una terra italiana, ed è, quindi, necessario che gli Italiani imparino a conoscerla un po' meglio e un po' più posatamente di quanto sia stato loro possibile leggendo sui giornali le impressioni episodiche dei corrispondenti di guerra e sui libri d'occasione le pagine descrittive di una città, di un' oasi, di un marabutto, di una giornata di *ghibli*, di un tramonto nel deserto, e via dicendo. La Libia come regione geografica, con la configurazione e la struttura del suo suolo, con la sua storia geologica, le sue culture, i suoi esploratori, il suo clima, il suo valore economico e strategico; le vie di comunicazione, gli abitanti, le loro vicende, i loro costumi e ogni altro ragguaglio che può servire alla conoscenza del paese e autorizzare fondati pronostici per l'avvenire di esso, è in questo volume esposto e descritto con semplice e suadente fascino di forma, e giudicato con la serena equanimità dell'uomo di scienza, che serve innanzi tutto alla verità.

Questo libro, pur nella sua piccola mole, e nella modestia delle sue intenzioni, è senza alcun dubbio il più completo ed organico contributo recato alla conoscenza della Libia da uno fra i più eminenti geografi italiani. Molte nitide incisioni, due carte geografiche in nero e due a colori, uscite dall'Istituto geografico De Agostini, illustrano mirabilmente il testo ed aggiungono grazie al volume, già di per se stesso attraente, come tutti gli altri usciti in questa ormai notissima « collana » di volgarizzazione scientifica.

MICHIELI prof. AUGUSTO. — **L'America del Nord.** — *Con 58 illustrazioni e due carte geografiche a colori. Legato, L. 1,50.*

Chi, fra le sue memorie di scuola, non ricorda parecchi testi di geografia, sui quali si annoiò mortalmente per lunghe e lunghe ore, nel vano conato di apprendere e ritenere gl'interminabili elenchi di nomi esotici, che nulla dicevano alla mente e non riuscivano a suscitare neppur la più scialba e lontana visione del paese che si doveva imparare a conoscere? La parte che più interessa, perchè costituisce lo scopo per cui si studia geografia, voglio dire la conoscenza degli abitanti, il modo e il perchè si sono stabiliti in quelle date sedi, le loro relazioni col resto del mondo, gli usi e i costumi che reggono la loro vita, le risorse del paese, i rapporti, insomma, che legano gli uomini alla terra e decidono delle forme della loro vita economica e sociale, del loro avvenire e della loro influenza nel mondo; tutta questa parte era completamente trascurata nell'insegnamento tradizione della geografia, quale almeno s'impartiva nelle scuole elementari e medie.

A tale errore di metodo reagiscono libri come questo del Michieli, che insegna la geografia dell'America del Nord con tanto vivo interesse e con tale snellezza di stile e varietà di episodi, da attrarre l'attenzione e conciliare la simpatia dei meno volonterosi di apprendere. Quando descrive città e paesaggi, quando studia i prodotti del suolo e del mare, l'organizzazione delle colossali industrie nord-americane, le reliquie della primitiva arte degli aborigeni, la vita delle tribù indiane ancora superstiti, dei pacifici eschimesi, dei negri reietti; quando intrattiene i lettori sui lavori immani del Canale di Panamà, che impiegano tanti nostri connazionali; quando esamina il problema preoccupante della nostra emigrazione, il fenomeno doloroso del suo concentramento nelle grandi metropoli, i trionfi e le sconfitte di questo grande esodo di nostra gente, che va oltre Oceano a mettere in valore le sue mirabili virtù produttrici; il piccolo libro conquide e persuade, come se parlasse, per bocca di un maestro, il cuore di un amico.

Lo adornano una sessantina di riuscitissime fotoincisioni e due carte geografiche a colori, fuori testo.

LORIA prof. ACHILLE. — **L'Evoluzione economica.** — *L. 0.90, legato*

L'illustre sociologo ed economista ha inteso, scrivendo questo volume per la « collana rossa » di volgarizzazione scientifica, di chiarire al popolo le fasi successive per le quali è passata la vita economica dell'umanità, dalla sua preistoria a nostri giorni, e spiegare le ragioni profonde che hanno determinato attraverso i secoli il mutarsi degli ordinamenti del lavoro produttivo. Una legge inesorabile incalza gli uomini, che si addensano sempre più nelle loro sedi

terrene, a trarre dal suolo quanto basti alla loro esistenza; e sotto il pungolo di questa dura necessità, vanno incessantemente e faticosamente perfezionando i metodi della produzione, instaurando sempre nuovi regimi economici, attraverso crisi e lacerazioni inevitabili, e foggiando conformi gli ordinamenti politici che li governano.

In queste pagine, di una trasparenza cristallina, la scienza e l'arte s'illuminano a vicenda per dare al lettore la sensazione di rivivere con gli antenati lontani attraverso tutti i regimi economici, dal comunismo primitivo, all'economia servile, all'odierno assetto del lavoro salariato. E lo conquide un senso quasi religioso di ammirazione per l'umana progenie, che crea infaticabilmente la sua storia, e della necessità che la premono si fa scala per salire verso ignote perfezioni.

SARACENI ing. IGINIO — **L'A. B. C. della macchina.** — *Con 108 illustrazioni, L. 1.50, legato.*

Chi vede una macchina in azione, quanto più essa è ingegnosa e complicata, delicata e possente, tanto più è preso di ammirazione per quell'*insieme* di elementi innumerevoli, che si muovono in mille sensi e in mille modi diversi, ma tutti armonici e coordinati ad un fine. Nulla vi è di superfluo e discordante: se togli un particolare minimo, tutta la vita del complesso organismo è colpita da paralisi. Gli è che, mentre l'osservatore profano s'impressiona dell'insieme, ogni particolare ha un valore a sè e costituisce una macchina più semplice, la quale ebbe un inventore suo proprio, si muove secondo leggi particolari e potrebbe entrare a far parte di un altro organismo complesso del tutto diverso da quello in cui l'abbiamo visto applicato. Quando noi diciamo: la locomotiva fu inventata da Stephenson, vogliamo significare che una lunghissima serie d'invenzioni meccaniche precedenti, dovute a studiosi e a sperimentatori di tutte le età, non escluse le remotissime, furono utilizzate da Stephenson e applicate alla sua locomotiva. La leva, la ruota, la vite sono macchine semplici, che entrano come elementi indispensabili in ogni più poderoso macchinismo. Modesti ed umili, vanno a confondersi nell'insieme, a cui solo si volge l'ammirazione dell'osservatore.

L'origine, la ragione e il funzionamento degli elementi che compongono la macchina sono esposti e chiariti con diligenza ed evidenza in questo volumetto del Saraceni, che supera di gran lunga qualunque tentativo precedente di volgarizzazione tecnologica e può riuscire utilissimo sia all'operaio meccanico che vuol darsi ragione dei fini del suo lavoro, sia allo studente che voglia approofondire le scarse nozioni di meccanica teorica apprese sui testi scolastici, sia a tutti indistintamente coloro che non si contentano di passare insensibili ed estranei davanti alle più caratteristiche manifestazioni della scienza e del lavoro.

BAILA Dott. EUGENIO. — **Igiene professionale.** — *L. 0.90, legato.*

La vita umana si logora assai più del necessario fra le classi lavoratrici, non perchè il lavoro costituisca di per sè stesso un regime di esistenza anormale e innaturale, ma perchè il più delle volte le persone che vivono di esso non hanno alcuna conoscenza delle condizioni nelle quali il lavoro deve compiersi per non riuscire nocivo e talvolta esiziale alla salute. Le professioni insalubri, nelle quali le stesse materie che si adoperano esalano veleni e producono malattie tristissime, come il saturnismo, il mercurialismo, il fosforismo, ecc.; le infezioni che hanno origine dal lavoro (carbonchio, malaria, anchilostomiasi); l'azione deleteria della polvere che s'inspira in certe industrie; il lavoro in ambienti chiusi e in posizioni viziate; le alterazioni profonde che dal lavoro insalubre derivano all'organismo umano, devastandolo; gli infortuni a cui va soggetto il lavoratore e le provvidenze sociali che ne attenuano i danni economici e disciplinano il lavoro quando si svolge in condizioni speciali di pericolo e di pena, tutto è con lucidezza e calore comunicativo insegnato a gli operai nelle otto lezioni contenute in questo volumetto, che è riuscito uno dei più praticamente utili fra i molti pubblicati nella notissima « collana » di volgarizzazione scientifica, edita dalla Federazione Italiana delle Biblioteche Popolari e dall'Università Popolare Milanese.

BERTARELLI prof. ERNESTO. — **Politica sanitaria.** — *L. 0.90, legato.*

Ernesto Bertarelli è, con Pio Foà, con Achille Sclavo e con pochi altri, uno degli apostoli più operosi e convinti della propaganda igienica in Italia. Dopo avere spiegato al popolo in un precedente volumetto di questa « collana » — *Igiene sociale* — l'origine, i pericoli e i rimedi delle malattie contagiose, espone in questo i mezzi e i metodi della difesa organizzata che la società (Stato, Provincie, Comuni, Opere pie) oppone alle insidie dei morbi, a salvaguardia della pubblica salute. La nostra legislazione sanitaria, ignota alla maggior parte de gli Italiani, eppur tanto lodata all'estero; la somma degli sforzi, dei mezzi, degli ordinamenti che provvedono alla difesa igienica delle nostre popolazioni; i progressi conseguiti, le deficienze a cui si deve ancora riparare, gli ideali igienici di una civiltà in cammino, si spiegano al lettore di questo volumetto con l'evidenza e l'interesse di cose rese come presenti e sensibili dal vivo fervore con cui furono dettate, ad ammaestramento del popolo italiano.

VICIANI prof. GAETANO. — **Le principali leggi della meccanica.** — *L. 1.50, illustrato e legato.*

V'è una parte della fisica che si esplica in fatti continui sotto gli occhi e le mani del popolo lavoratore, governando tutte le forme dell'attività produttiva. Questa parte della fisica è la *meccanica;* la quale, conosciuta nelle sue leggi fondamentali, non solo insegna, a chi fatica, l'economia dello sforzo e la rispondenza del mezzo al fine, spiegando i fenomeni di *moto* e di *forza* nelle loro infinite manifestazioni e applicazioni, e ponendoli a fondamento di tutti i mestieri; ma, riadducendo a un'origine e a una causa il volo di un insetto e il moto degli astri, rivela a gli uomini — occupati delle loro piccole necessità — la profonda unità delle leggi che governano la vita del mondo sensibile. Questi insegnamenti e questa luce trarranno dal volumetto Viciani i lavoratori studiosi, a cui si rivolge.

ENRIQUES dott. PAOLO. — **I Mammiferi e gli Uccelli.** — *L. 1.50, illustrato e legato.*

L'uomo, in generale, s'interessa poco a gli altri esseri viventi, che in numero infinito nascono, crescono e muoiono sul nostro pianeta. Eppure molti di essi gli vivono accanto, amici devoti o nemici insidiosi; alcuni entrando come elementi importanti nella economia della sua vita individuale e sociale, altri persino partecipando alle manifestazioni della sua vita morale, come creature fraterne. Si pensi un istante alla profonda trasformazione che subirebbe l'umana convivenza, se ad un tratto tutti gli animali scomparissero dalla faccia della terra. La mente rifugge smarrita, davanti alle conseguenze d'un simile evento. Eppure quanti di noi ignorano tutto, o quasi, di questi esseri, anche di quelli che ci vivono più vicini, come i mammiferi e gli uccelli, che — se non altro — hanno comune con noi tanta parte del loro meccanismo vitale. Questo volumetto fu appunto concepito e scritto per iniziare la gente desiderosa di nozioni utili e sane, alla conoscenza di una vasta parte del mondo animale, pieno di tante meraviglie e fecondo di tanti ammaestramenti. La sua singolarità consiste nell'aver saputo avvivare di umana simpatia lo studio degli esseri bruti, e fatto sentire, quasi francescanamente, come ciascuno di essi partecipi della nostra natura fondamentale e sia un episodio della vita universa, comunque se ne concepiscano le origini e i destini.